



Биол. журн. Армении, 4 (62), 2010

ОСОБЕННОСТИ МЕЖЭКОСИСТЕМНЫХ СВЯЗЕЙ В АРАГАЦСКОМ ГОРНОМ МАССИВЕ

А.Г. САКОЯН, Р.Г. РЕВАЗЯН, Л.А. АРАРАТЯН,
Э.А. САФРАЗБЕКЯН, М.Г. АВЕТИСЯН

Центр Эколого-ноосферных исследований НАН РА
E-mail: eco-centr@mail.ru

Рассматриваются вопросы межэкосистемных связей между различными экосистемами - как близкими, так и пространственно более удаленными. Специфика трансформации и дальнейшего развития послелесных почв, близких экосистем обусловлена особенностями миграционных процессов, свойственных данному географическому поясу горной системы. Здесь имело место развитие элювиальных процессов, обуславливающих более высокую мобилизацию азотсодержащей органики и минеральных веществ в межэкосистемных связях.

Изучение межэкосистемных связей между удаленными экосистемами по вертикальной поясности с помощью водно-миграционного потока веществ, включающего различные генетические категории ландшафтных вод: атмосферные осадки – внутрипочвенный сток (лизиметрические воды) – водотоки – речной сток, показало, что речные воды практически полностью преемствуют степень ионной и общей минерализации, гидрорхимический тип лизиметрических вод, сформировавшихся в почвенном профиле.

Миграция химических элементов – внутрипочвенный сток – межэкосистемные связи - лесной и луговой ценозы

Քննարկվում են միջէկոհամակարգային կապերին վերաբերող հարցեր՝ կապված ինչպես մոտիկ, այնպես էլ տարածությամբ իրարից հեռու տարբեր էկոհամակարգերի միջև փոխադարձ կապերի միաժամանակյա ուսումնասիրման և հաշվառման հետ:

Միմյանց մոտ գտնվող էկոհամակարգերի (անտառային և հետանտառային ցենոզների) միջհամակարգային կապերի յուրահատկությունը պայմանավորված է լեռնային համակարգի տվյալ աշխարհագրական գոտուն բնորոշ միգրացիոն պրոցեսների առանձնահատկություններով: Այստեղ տեղի է ունենում էյուվիալ պրոցեսների զարգացում, որը պայմանավորում է ազոտ պարունակող օրգանական և հանրային նյութերի բարձր համարումը:

Միջհամակարգային կապերի ուսումնասիրությունը՝ կատարված իրարից հեռու էկոհամակարգերի միջև նյութերի ջրամիգրացիոն հոսքի վերլուծության օգնությամբ (որը ներառում է իր մեջ ջրերի տարբեր գենետիկական կատեգորիաներ, մթնոլորտային տեղումներ (ներհողային հոսք), լիզիմետրիկ ջրեր) (ջրահոսքեր (գետային հոսք, ցույց տվեց, որ գետաջրերը գրեթե լիովին ժառանգում են հողային պրոֆիլում կազմավորված իոնային և ընդհանուր հանքայնացման աստիճանը, հիդրոքիմիական տիպը, ինչպես նաև բնական ջրերի հիմնական աղային կազմի իոնների հարաբերությունների տիպը:

Քիմիական տարրերի միգրացիա — ներհողային հոսք — միջէկոհամակարգային կապեր — անտառային և մարգագետնային համակեցություններ

The article deals with issues of inter-ecosystem bonds connected with synchronous studies and consideration of interrelations of different ecosystems spatially located closely to and distantly from each other. A specificity of transformation of closely located ecosystems (forest and after-forest coenoses) is predetermined by peculiarities of migration processes typical of the given geographic belt of the mountain system. There eluvial processes used to develop stipulating higher mobilization of nitrogen-containing organic matter and mineral substances in inter-ecosystem bonds.

Investigation of inter-ecosystem bonds of distant ecosystems by vertical zones with the help of water-migration flow of substances (that includes diverse genetic categories of landscape waters- atmospheric precipitation, in-soil runoff (lysimetric waters) – water currents – river runoff) indicated that practically river waters fully inherit the level of ionic and common mineralization, a hydrochemical type of lysimetric waters formed on soil profile as well as a type of correlation of ions of basic salt composition of natural waters.

Migration of chemical elements - in-soil runoff - inter-ecosystem bonds – forest and meadow coenoses

В настоящее время исследования экологической направленности в основном развертываются внутри экосистем, между их живыми и косными компонентами. Задача эта для охраны окружающей среды, естественно, имеет первостепенное значение, однако она не должна препятствовать одновременному изучению и учету взаимосвязей между различными экосистемами - как близкими, так и более пространственно удаленными. Поэтому изучение этих взаимоотношений имеет прямое касательство к наиболее острым проблемам – устойчивого развития и первичной биологической продуктивности.

Одним из важнейших положений для экосистем следует признать изучение межэкосистемных связей, поскольку природа любой экосистемы определяется не только особенностями структуры и работы составляющих его компонентов, но в меньшей степени и воздействием окружающих соседних экосистем. Поскольку с помощью водной и воздушной миграции происходит пространственный перенос различных растительных и твердых минеральных частиц, выдуваемых или смываемых с почвой [4]. Особенно существенна межэкосистемная миграция веществ, связанная с водным потоком, который выщелачивает значительную массу веществ, используемых другими экосистемами [2,8]. С этих позиций актуальным является изучение миграции химических элементов в системе атмосферные осадки – основные генетические категории природных вод (внутрипочвенный сток, водотоки, речная вода) для горных экосистем Арагацкого массива по всему высотному диапазону (3270-1128 м абсолютной высоты), а также в системе подстилка – почва – инфильтрационные воды в лесных и луговых ценозах луго-степного пояса, что позволит дать количественную характеристику миграционных процессов, определяющих степень использования почвенных ресурсов и экологических последствий, нарушающих экосистемные связи. Поэтому без изучения и оценки межэкосистемных связей не может быть правильно исследована и расшифрована внутриэкосистемная миграция, которая имеет прямое отношение к наиболее острым экологическим проблемам.

Целью настоящей работы являлось комплексное эколого-геохимическое исследование межэкосистемных связей в горном массиве, предусматривающее изучение не только основных компонентов экосистемы, но и миграционных потоков элементов, диагностирующих наиболее важные процессы функциониро-

вания экосистем. Они включают характеристику особенностей миграционных процессов как между близкими, так и пространственно более удаленными экосистемами, а также трансформации химического состава объектов исследования под воздействием антропогенных и природных факторов.

Материал и методика. С целью исследования межэкосистемных связей Арагацского горного массива в целом (альпийский, лугостепной пояса) определяли химический состав атмосферных осадков и основных генетических категорий природных вод (внутрипочвенный сток, водотоки и речная вода). Изучение внутрипочвенного стока проводилось лизиметрическим методом. Плосковрезные лизиметры были установлены под горизонтом почв (0-50 см), при этом не нарушая естественного растительного покрова и подстилки и в наименьшей степени деформируя строение и сложение почвы.

Межэкосистемные связи изучали также на примере 2-х почвенных типов: лугово-степного и лесного коричневого, распространенных в лугостепном географическом поясе. Все пробные площадки расположены в лугостепном поясе с однотипными климатическими условиями. Исследовали почвы, водные вытяжки из почв и подстилки лугостепного пояса Арагацского горного массива. Изучаемая территория представляет собой предел формирования лесной экосистемы, граничащей с луговым сообществом. Лесной ценоз представлен смешанным лесом, и его древостой относительно низкорослый; для исследуемых лесных почв характерна мощная подстилка. Водные вытяжки получены при соотношении твердая фаза – вода 1:10 для подстилок и 1:5 для минеральных горизонтов почв. В вытяжках определен ионный состав, рН, редокс-потенциал (Eh) и общее содержание углерода (C орг) по общепринятым методикам.

Результаты и обсуждение. В настоящей работе мы попытались дать анализ особенностей миграции химических элементов в луговых и лесных ценозах одного географического пояса (лугостепного), а также миграции элементов по всему высотному диапазону (3270-1127 м абсолютной высоты) в системе атмосферные осадки – внутрипочвенный сток – речная вода, подходя к ним с позиций меж-экосистемных связей.

Известно, что происходящие в экосистемах биогеохимические обменные процессы способствуют усилению способности почвенного раствора и инфильтрующихся через почву вод к агрессивным действиям по отношению к минералам. При этом оно происходит вследствие увеличения CO_2 в почвенном растворе, в основном за счет биохимического распада растительных остатков – подстилки [6].

Одним из важнейших этапов жизнедеятельности травяных и лесных ценозов следует признать ежегодное образование слоя отмирающих остатков – подстилки в разной степени разложения в почве или на ее поверхности. Этот слой является не только хранилищем химических элементов – питательных веществ, но и одним из важных структурных элементов вышеуказанных ценозов. Они являются источником водорастворимых органических веществ и основной зоной накопления химических элементов. В водных вытяжках из подстилок преобладают водорастворимые органические и химические вещества. При этом водорастворимые органические вещества разного состава, как известно, преимущественно электронейтральны, что ограничивает их сорбцию почвенными частицами и способствуют свободной миграции в ландшафте [9].

Изучение процессов трансформации химического состава подстилки, показывает динамику изменения его в лесном и луговом ценозах (табл.1). В лесной подстилке оказывается гораздо больше К, Р, Са, Mg, N, чем в подстилке луга. При этом лесная подстилка отличается значительно высоким, чем в луговом ценозе, уровнем общего содержания углерода. Эти факторы способствуют, в частности, переходу от кислой реакции, свойственной лесным ценозам, к щелочной в луговых ценозах. Возможно, менее кислая реакция и большее содержание кальция в подстилке создают более благоприятные условия для жизнедеятельности микроорганизмов, что усиливает их способность полнее разлагать органические остатки [1].

Органическое вещество, с которым связаны окислительно-восстановительные условия, является одним из важнейших компонентов почвы, причем с одной стороны, оно выступает как источник энергии и пищи, обеспечивая деятельность микробных ценозов и определяя тем самым интенсивность окислительно-восстановительных процессов в почве, с другой – органическое вещество, обладая довольно сильно выраженной восстановительной способностью [3], участвует в этих реакциях.

По своему биохимическому составу почвенная азотсодержащая органика очень неоднородна, значительная часть ее входит в состав стойких и инертных в химическом отношении соединений [7]. Поэтому часть азота является как бы законсервированной на длительный период времени и не принимает участия в биогеохимической цикличности [5]. Другая часть азотного фонда менее сложного химического состава, обладает способностью в естественных условиях среды подвергаться гидролитическому расщеплению. Эту часть рассматриваем как непосредственный источник образования минеральных форм азота.

Таблица 1. Сравнительная характеристика состава водных вытяжек из подстилок и почв лесных и луговых ценозов в лугоstepном поясе, мг/л (среднее за 2005-2008гг)

Водная вытяжка	pH	C орг.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
Лесной ценоз (смешанный лес)									
Из подстилки	-	253,7	370,0	330,0	480,0	210,0	89,9	450,0	180,0
Из лесной коричневой почвы	5,7	92,4	93,0	60,0	43,0	61,0	1,5	4,2	0,96
Луговой ценоз (последлесной участок, 20лет после вырубki леса) сенокос									
Из подстилки	-	224,5	340,0	310,0	185,0	210,0	56,0	142,0	110,0
Из лугово-степной почвы	5,7	78,6	79,0	60,0	25,7	55,6	1,0	3,4	0,89
Луговой ценоз, сенокос (контроль)									
Из подстилки	-	128,3	195,0	200,0	110,0	152,0	22,0	47,0	47,9
Из лугово-степной почвы	7,4	48,9	50,0	35,0	15,6	32,0	0,96	2,4	0,63

Из табл. 1 видно, что общее содержание водорастворимых органических веществ в подстилках лесного ценоза заметно отличается от лугового и превышает его в 2 раза. Содержание углерода в водной вытяжке из лугово-степной почвы (последлесной участок) по сравнению с лесной коричневой почвой в 1,2 раза уменьшается, тогда как по сравнению с луговым ценозом - в 1,9 раз.

Содержание углерода в водах верхнего горизонта лесной коричневой почвы меньше по сравнению с подстилкой в 2,7 раз. Аналогичная картина отмечается и для лугово-степной почвы. Различия в содержании воднорастворимых органических веществ ценозов связаны с особенностями биогеохимической цикличности углерода, которая характеризуется объемом и структурой фитомассы и ее продуктивностью, составом опада и др. факторами.

Разница в содержании ионов Ca, Mg, Na, NO₂, NO₃ и PO₄ между лесным ценозом и послелесным участком небольшая; что касается контрольного участка, то здесь концентрации ионов в водных вытяжках резко понижаются (от 1,5 до 2,7 раза). Тренд изменения лабильных свойств почвы достаточно устойчив, так как даже через 15–20 лет после вырубki леса сохраняется кислотность растворов почвы и вероятность более интенсивного протекания элювиальных процессов не только органических содержаний, но и ее минеральной основы.

Следовательно, лесные ценозы способствуют обогащению луговых ценозов не только органическим веществом, но и минеральными элементами, и это фиксируется более низкими концентрациями элементов на послелесных участках по сравнению с естественными условиями (до вырубki леса).

Невысокое содержание органики, малая подвижность ее гидролизуемых компонентов на фоне пассивного воздействия окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) лугово-степной почвы определяют неблагоприятный питательный режим в луговых ценозах. Травостои, произрастающие на этих почвах, отличаются низкой продуктивностью.

Уровень обеспечения фитоценозов азотом зависит в основном от высвобождения аммиака из состава сложных органических соединений в почве и подстилке и от экологической обстановки. Вследствие этого в почве постоянно восполняются минеральные соединения азота и обеспечивается его необходимый уровень. При этом лесная подстилка насыщена водорастворимыми и обменными соединениями азота значительно лучше луговых ценозов.

Основываясь на показаниях ОВП лугового ценоза, при которых происходит трансформация азотных соединений, можно заключить, что азот и органическое вещество в луговых ценозах переходят в качественно новое состояние; это обуславливает развитие в почвах процессов, не свойственных горно-луговым ценозам: проявление слабого оглеения, что, очевидно, формируется в условиях сезонного переувлажнения. Поэтому окислительно-восстановительная обстановка почв во многих случаях помогает выявлению величин интенсивности почвенных процессов и особенностей функционирования почв в различных экологических условиях.

Определение и сопоставление активности ОВП с содержанием различных форм азотных соединений в подстилках и почвах в луговых и лесных ценозах дает основание полагать, что в зависимости от различий биогеохимической и гидрологической обстановок изменяется и миграция элементов, однако при этом сохраняются межэкосистемные связи.

Таблица 2. Содержание и динамика легкогидролизуемого азота в почвах различных ценозов лугостепного пояса, мг/кг (среднее за 2005-2008гг.)

Объект	Генетический горизонт, глубина, см	Май	Июль	Сентябрь
Лесной ценоз (смешанный лес)				
подстилка	A ₀ - 0 - 5	352,6	276,8	64,5
почва	A ₁ 5 - 10	85,0	98,5	51,5
Луговой ценоз, сенокос (послелесной участок)				
подстилка	A ₀ - 0 - 2	157,0	94,3	43,4
почва	A ₁ 5- 10	52,6	39,7	26,2
Луговой ценоз, сенокос				
подстилка	A ₀ - 0 - 2	78,2	52,5	18,4
почва	A ₁ 5- 10	26,7	19,4	12,2

Для экосистемы лугостепного пояса характерна специфическая динамика содержания азота, которая четко проявляется при антропогенном воздействии. Одним из антропогенных факторов трансформации среды являлась вырубка леса, в результате которой имели место значительные изменения в состоянии уже послелесных почв. У последних еще сохраняется кислая реакция почв, что обуславливает усиление элювиальных процессов, и как следствие - увеличение выноса легкогидролизующего азота вниз по профилю почвы (табл. 2). При этом интенсивное прогревание почвы при отсутствии затеняющего эффекта древесного полога обуславливает более интенсивное продуцирование азотных соединений, чем до вырубки.

В распределении легкогидролизующего азота по профилю почвы заметно выделяется самый поверхностный слой мощностью 0-10см, в котором происходят в основном все элювиально-аккумулятивные процессы. Чаще всего максимум в его содержании приурочен к весеннему сезону года. Четырехлетние наблюдения (2005-2008гг.) за динамикой легкогидролизующего азота показали, что количество его в подстилке лесного ценоза в течение весенне-осеннего сезона варьировало в пределах 64,5-352,6 мг/кг, а в почве - 51,5-85,0 мг/кг, но уже к концу сентября оба показателя снизились, что свидетельствует не только об его интенсивной минерализации, но и о пассивном накоплении. Низкое содержание его отмечалось как в начале вегетации, так и в конце, т.е. недостаток энергетического материала для процессов аммонификации в подстилках особенно характерен для лугового ценоза. Такая динамика связана с неодинаковой интенсивностью минерализации азотсодержащей органики, поскольку разложение легкогидролизующего азота в подстилке лугового ценоза происходит быстрее. В начале осени содержание легкогидролизующего азота в подстилках снизилось до 18,4 мг/кг, что свидетельствует не только об его интенсивной минерализации, но и активном выщелачивании за счет интенсивных дождевых осадков.

Особо следует отметить, что на послелесном участке под вырубкой по сравнению с луговым ценозом отмечаются высокие показатели гидролизующего азота как в подстилке, так и в почве. Это подтверждает тот факт, что послелесной луговой участок наследует показатели лесного ценоза. Это связано с тем, что минерализация органических соединений в почве под луговым ценозом происходит более быстрыми темпами; кроме того, почва под лугом прогревается лучше и быстрее, что также способствует более полной реализации потенциальных запасов энергетического материала.

Рассмотрев вопросы миграции биогенных элементов в луговых и лесных ценозах одного географического пояса, можно отметить большую роль подстилки в процессах превращения азотсодержащей органики. При этом переход от лесного ценоза к молодому лугу сопровождается большими изменениями в содержании азота и органического углерода, и по мере формирования луговых ценозов их содержание в почвах понижаются.

Следовательно, специфика трансформации и дальнейшего развития послелесных почв обусловлена особенностями лесного ценоза и миграционных процессов, свойственных лугостепному поясу горной экосистемы. В лесных почвах имело место развитие элювиальных процессов, связанных с увеличением актуальной кислотности и обуславливающих более высокую мобилизацию азотсодержащего органического вещества и минеральных элементов в процессе поддержания межэкосистемных связей с луговым ценозом.

В межэкосистемных связях другим важным аспектом являются водные потоки, включающие в себя различные генетические категории ландшафтных вод:

атмосферные осадки – внутрипочвенный сток (лизиметрические воды) – водотоки – речной сток. Этот блок экосистемы обеспечивает внутрисистемные связи между компонентами экосистемы, вынос веществ из нее и формирование элементного состава результирующих речных вод, чем и обуславливает реализацию ландшафтно-геохимических процессов в условиях гумидного климата.

Сопоставление химического состава лизиметрических растворов в нижних почвенных горизонтах и водотоков в горных экосистемах рассматриваемого высотного ряда позволяет в определенной степени рассмотреть дальнейшие процессы трансформации сквозного потока веществ и формирования речных вод. Как показали наши исследования, основные закономерности формирования вод местного стока характерны для горных экосистем по всему высотному диапазону (3270-1127м абсолютной высоты).

Воды и водотоки в высокогорных экосистемах, характеризующие начальный этап формирования речных вод в самих истоках – это слабокислые, очень мало минерализованные воды, преимущественно гидрокарбонатно-кальциевого состава, которые практически полностью преобладают уровень кислотности и степень ионной и общей минерализации лизиметрических вод из нижних почвенных горизонтов (Табл.3).

Таблица 3. Химический состав атмосферных осадков, лизиметрических вод, водотоков и речной воды бассейна р. Амберд Арагацкого массива, мг/л (среднее за 2005-2008гг.)

Объект, абсолют. высота	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	Сумма ионов
Атмосф.осадки, 3270 м	6,05	4,00	3,80	0,20	0,54	0,82	0,03	1,59	10,3	12,2	4,94	0,22	38,4
Лизиметрические воды (глубина 0-50см)													
	Альпийский пояс (3270м)	5,90	8,03	1,2	0,20	1,1	0,30	0,21	1,8	5,3	14,6	7,2	0,07
Лугоstepной пояс (2085м)	7,40	10,02	3,40	0,40	2,60	1,40	0,20	3,00	12,8	22,0	9,6	0,20	73,0
Водотоки (3000м)	6,75	3,21	2,12	1,05	1,44	0,30	0,03	1,36	3,3	13,4	4,8	0,44	39,2
Река Амберд (1127м)	7,01	7,82	5,00	3,90	2,72	0,35	0,04	1,68	13,1	27,3	9,6	0,33	78,9

Речной сток в пределах рассматриваемого высотного ряда достаточно четко отражает специфику формирования речных вод по мере перехода от ландшафтно-геохимических условий высокогорных экосистем к условиям среднегорных: постепенная нейтрализация слабокислых в высокогорных истоках речных вод и увеличение pH до нейтральных; соответственно, увеличение гидрокарбонатной составляющей по сравнению с сульфатной; возрастание ионной и общей минерализации. По соотношению анионов речные воды имеют стабильный гидрокарбонатно-сульфатный в истоках и гидрокарбонатно-хлористый – в среднегорных высотных позициях состав. По мере снижения абсолютных высот речной сток Арагацкого массива приобретает по соотношению катионов стабильный кальций-магниевый состав, начи-

ная от истоков. В целом же воды р. Амберд, как и водотоки, практически полностью преемствуют степень ионной и общей минерализации лизиметрических вод, сформировавшихся в почвенном профиле, а также преимущественно и тип соотношения ионов основного солевого состава.

Таким образом, комплексные ландшафтно-геохимические исследования горных экосистем Арагацкого массива, где представлены основные типы экосистем высотной поясности субрегиона (диапазон высот 1127-3270 м), показали, что взаимодействие между различными системами играет роль важнейшего механизма, который обеспечивает как целостность экосистемы, так и связанность отдельных ее компонентов миграционными потоками веществ, диагностирующие важнейшие межэкосистемные связи в системах “атмосферные осадки – внутрипочвенный сток – речные воды” и “лесной – послелесной – луговой ценозы”.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аристовская Т.В.* Микробиология процессов почвообразования. Л., 187с., 1980.
2. *Елпатьевский П.В.* Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. М., “Наука”, 253с., 1993.
3. *Кауричев И.С., Орлов Д.С.* Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. М., Колос, 247с., 1982.
4. *Ковда В.А.* Биосфера, почвы и их использование. М., 128с., 1974.
5. *Кудеяров В.Н.* Об интенсификации вовлечения азота в его биогеохимический цикл. В кн.: Круговорот и баланс азота в системе почва-удобрение-растение-вода, М., Наука, с.280-284, 1979.
6. *Милановский Е.Ю., Шейн Е.В., Степанов А.А.* Ландшафтно-биохимические свойства органического вещества и структура почвы, Почвоведение, 6, с.122-126. 1993.
7. *Орлов Д.С.* Гумусовые кислоты почв. М., “Наука”.
8. *Ревазян Р.Г.* Биогеохимическая цикличность химических элементов и проблемы устойчивости экосистем. Доклады НАН Армении, 98, 4, с.357-362, 1998.
9. *MacCarthy P.* The principles of humic substances. Soil Science. 166, 11. p. 738-751, 2001.

Поступила 28.06.2010