БИОТИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ – ПРЕГРАДА ВЫНОСУ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ПОЧВЫ

Титлянова А.А.

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Российская Федерация
atitlyanova@mail.ru

Аннотация: отдельные элементы и вещества проходят в природе различные пути по трем основным направлениям: рассеивание, концентрирование и биотический круговорот. Рассеивающие потоки связаны обычно с водой и ветром, концентрирование – с почвообразованием, засолением и карбонитизацией.

Биотический круговорот отражает свойства и местоположение экосистемы, отвечая рельефу и поверхностному стоку воды. Все эти процессы развиваются не в однородном пространстве, а на экологических градиентах четырех типов: широтно-зональном, высотном поясе, градиента континентальности и катенного. Суть катенного подхода к анализу экологических закономерностей сводится к выделению в одной местности одного или нескольких модельных геоморфологических профилей, проходящих от самого высокого места территории к самому низкому. Верхние участки цепи – самая сухая часть катены, нижняя – самая влажная (Мордкович и др., 1985).

Геохимики давно работали на катенах и М.А. Глазовской принадлежат названия различных частей катены. Самая высокая и сухая часть – элювиальная, Эль; транзитная, Транс; аккумулятивная – подножие катены – Ак (Глазовская, 1964). Можно выделить Транс-Эль, Транс-Ак и т.д.

Около 70% площади Сибирской низменности представлено не плоскими поверхностями, а катенами, в связи с чем наши работы всегда проводились на катенах. Наиболее многогранно изучена Барабинская катена (Структура, функционирование..., 1974, 1976). Объектом наблюдения была катена длиной около 2 км, на которой выделялись элювиальные, транзитные и аккумулятивные позиции с характерными биогеоценозами, общим числом десять. Кроме того, на высокой гриве, не входящей в катену, изучалось первое звено цепи – луговая степь на обыкновенном черноземе.

Фактически были исследованы все абиотические потоки, входящие в экосистему и выходящие из нее, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях, и основные обменные процессы биотического круговорота.

Результаты работ позволили оценить баланс химических веществ в почвах разных типов экосистем – элементарных ландшафтов, с учетом: атмосферных осадков, поверхностного стока, бокового внутрипочвенного стока, восходящих пленочно-капиллярных растворов выноса в грунтовые воды. Приведем три примера баланса (таблица 1).

Таблица 1 – Баланс химических элементов в почвах разных типов элементарных ландшафтов, кг/га в год

Входные и выходные процессы	Соли	Минеральные вещества (за исключением солей)	C	N
1	2	3	4	5
Элювиальный ландшафт, чернозем обыкновенный				
Вход с атмосферными осадками	95	37	38	3,5
Выход с поверхностным и боковым стоком	24	193	163	6,1
Баланс	+ 71	- 156	- 125	- 2,6

1	2	3	4	5
Трансэлювиальный ландшафт, черноземно-луговая почва				
Вход с атмосферными осадками*	256	82	195	9,8
Выход с поверхностным и боковым стоком	952	302	870	32,9
Баланс	- 696	- 220	- 657	- 23,1
Аккумулятивный ландшафт, торфяно-болотная почва, приозерная пойма				
Вход с атмосферными осадками*	3423	504	419	24,3
Выход с поверхностным и боковым стоком	2788	54	51	1,7
Баланс	+ 635	+ 450	+ 368	+ 22,6

*Вход с атмосферными осадками в трансэлювиальном и аккумулятивном ландшафтах включает скатывание дождевой воды и снега с верхних позиций на катене на нижние.

Как следует из анализа таблицы 1, интенсивность миграции нарастает вниз по катене. Элювиальный ландшафт имеет положительный баланс солей за счет их привноса с атмосферными осадками и низкого выхода с поверхностным стоком. Трансэлювиальный ландшафт теряет, а аккумулятивный накапливает все вещества.

В биотическом круговороте определялись интенсивности следующих процессов:

Образование надземной продукции, ANP

Отмирание надземной фитомассы, G , и переход ее в ветошь, D . $G \rightarrow D$

Образование подстилки, L , из ветоши. $D \rightarrow L$

Разложение подстилки: $L \rightarrow CO_2$

Прирост подземных органов, B , т.е. образование подземной продукции, BNP

Отмирание подземных органов, V . $B \rightarrow V$

Разложение мертвых подземных органов. $V \rightarrow CO_2$

Величина $ANP+BNP$ определяет чистое потребление фитоценозами C и зольных элементов.

Интенсивность процессов биотического круговорота значительно выше интенсивности абиотических процессов (таблица 2).

Таблица 2 – Потребление фитоценозами C из атмосферы, N и зольных элементов из почвы в экосистемах катены, кг/га в год

Позиция, экосистема	C	N	P	K	$Ca+Mg$	$S+Cl+Na$	$Si+Fe+Al$
Элювиальная, луговая степь на черноземе обыкновенном	8260	330	33	121	100	72	760
Трансэлювиальная, мезофитный луг на черноземно-луговой почве	12300	385	21	213	708	120	1124
Аккумулятивная, травяное болото на торфяно-болотной почве	32000	650	171	274	657	305	2285

Пути, по которым проходят элементы питания и углерод в фитоценозе довольно сложны и еще слабо изучены. Мы даем пример круговорота углерода и минеральных элементов для трансэлювиальной позиции, на которой расположен мезофитный луг.

Продукция травяных экосистем очень большая и нарастает вниз по катене от 16 до 64 т/га в год (сухое вещество). Около 60-70% продукции создается в подземной сфере за счет активного оттока фотосинтетатов из листьев в корни. Очень высоко накопление травянистыми растениями $Ca+Mg$ – от 400 до 660 кг/га в год. Элементы, образующие растворимые соли ($S+Cl+Na$) отличаются своим поведением от K , который также дает растворимые соли, но одновременно является элементом-биофилом.

Интенсивность биотического круговорота превышает ежегодную миграцию элементов с водами. Биотический круговорот является главным механизмом перераспределения углерода между атмосферой и почвой, и таких элементов как N , K , Ca – между почвой и растениями. Следует специально отметить, что биотический круговорот обеспечивает непрерывное движение атомов по круговым траекториям, в то время как водная миграция (поверхностный сток) непрерывно работает в одном направлении – сверху вниз по катене и результаты ее деятельности суммируются.

В биотическом круговороте внутри фитоценоза совершаются процессы входа, перераспределения потребленных элементов от одних компонентов к другим и выхода из круговорота. Приведем примеры баланса углерода (таблица 3).

Таблица 3 – Бюджет углерода в экосистеме мезофитного луга, кг/га в год

Статья бюджета	V. 1970 – V. 1971 гг.
Всего потреблено фитоценозом	13680
Потреблено надземными органами	1620
Потреблено подземными органами	12060
Выщелочено осадками из надземных органов	100
Возвращено в почву при разложении подстилки	100
Возвращено в атмосферу при разложении подстилки	1260
Возвращено в атмосферу и почву при разложении мертвых подземных органов	9600
Всего возвращено в атмосферу и почву	11060

Примечание. Под потреблением C понимаем чистую первичную продукцию (т.е. разность между интенсивностями фотосинтеза и дыхания); в статью «всего возвращено» не входит дыхание G и B (по: Титлянова, 1979).

Потребление углерода из атмосферы надземными органами фитоценоза очень велико – 13,7 т/га. Из этого количества 88% углерода в виде фотосинтетатов дислоцируется в подземные органы, которые быстро отмирают и создают пул мертвой подземной фитомассы. В течение сезона идет активная минерализация подземных растительных остатков. Наряду с минерализацией происходит накопление прогумуса, со временем превращающегося в гумус. Новообразованный гумус компенсирует потерю почвенного углерода с поверхностным стоком. Мы до сих пор не знаем отношение интенсивностей процессов минерализации и гумусообразования. Вероятно, доля углерода, уходящего в гумус, не превышает 10% от доли C , выделяющегося в виде CO_2 в атмосферу.

C круговоротом углерода связан круговорот всех элементов питания, который достаточно подробно изучен для мезофитного луга (таблица 4).

Наибольшее потребление зафиксировано для Si . Поскольку травостой злаковый, а концентрация Si в злаках велика – этот элемент доминирует и в травостое и в подземных органах. Потребление азота и калия меньше, чем аккумулятивное Ca , который концентрируется в основном в подземных органах. Необходимо иметь в виду, что

значительное количество питательных элементов остается на зиму в живых подземных органах.

Таблица 4 – Бюджет химических элементов за год (23.V. 1970 – 22.V. 1971), кг/га в год (по: Титлянова, 1979)

Элемент	Всего потреблено из почвы	Перешло из		Закреплено в ветоши	Возвращено в почву				Всего
		подземных органов в надземные	надземных органов в подземные		Выщелочено осадками из надземных органов	выделено прижизненно из подземных органов	при разложении подстилки	при разложении подземных органов	
<i>Si</i>	792,7	135,4	0,0	140,4	0,0	25,3	146,5	521,0	692,8
<i>Ca</i>	480,2	17,2	0,0	17,4	0,0	16,0	26,4	371,0	413,4
<i>N</i>	384,7	46,1	1,0	30,8	8,2	0,0	21,2	278,4	307,8
<i>Mg</i>	227,5	13,9	0,0	11,3	3,6	0,0	14,6	208,5	226,7
<i>K</i>	212,7	47,8	7,4	17,6	23,7	14,0	15,3	74,0	127,0
<i>Al</i>	188,0	2,7	0,0	2,9	0,0	0,0	14,0	114,3	128,4
<i>Fe</i>	142,9	2,1	0,0	2,2	0,0	0,0	10,1	105,8	115,9
<i>Na</i>	62,9	5,8	1,8	3,2	1,0	11,0	5,7	26,5	44,2
<i>S</i>	31,2	4,0	0,0	3,1	1,1	0,0	3,1	24,1	28,3
<i>Cl</i>	26,2	13,8	0,0	3,8	10,4	0,2	3,7	9,7	24,0
<i>P</i>	21,1	4,8	0,0	3,1	1,8	1,8	3,4	14,1	21,1
<i>Mn</i>	5,9	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0	0,3	5,4	5,7

В данном случае мы не имеем нулевого баланса элементов. Наш опыт показывает, что бюджет элементов питания в экосистеме в разные годы может быть то положительным, то отрицательным. Если экосистема находится в терминальном состоянии, то нулевой баланс обычно устанавливается за 5-6 лет. Различия в разные годы связано с многими причинами: конкретными погодными условиями, внедрением новых видов, нашествием вредителей, сменой доминирующих видов и т.д.

Если же экосистема находится в состоянии медленной сукцессии, то мы иногда получаем нулевой баланс за 1-2 года. В то же время изменение всей системы и баланса в ней элементов питания регистрируется за длительный срок.

Для характеристики поведения элементов в системах биотических и абиотических процессов был введен показатель абиотичности, который рассчитывается как отношение суммы интенсивностей входных (или выходных) абиотических процессов к интенсивности потребления данного элемента фитоценозом. В таблице 5 приведены показатели абиотичности только для суммы входных процессов.

Таблица 5 – Показатели абиотичности

Позиция, экосистема	<i>C</i>	<i>N</i>	<i>S</i> *	<i>m</i> **
Элювиальная, луговая степь на черноземе обыкновенном	0,005	0,011	0,49	0,03
Трансэлювиальная, мезофитный луг на черноземно-луговой почве	0,015	0,096	0,77	0,04
Аккумулятивная, травяное болото на торфяно-болотной почве	0,013	0,036	5,91	0,16

* – солевые компоненты; ** – несолевые компоненты

Положение экосистемы в рельефе и диктуемое этим положением соотношение интенсивностей процессов биотического круговорота и абиотической миграции определяет особенности функционирования экосистем и их эволюцию.

Луговые степи на обыкновенных черноземах характеризуются наибольшим относительным возрастом и близки к терминальной стадии развития. Водный режим почв непромывной. Водная миграция элементов определяется атмосферными осадками и поверхностным стоком. Геохимический баланс для несолевых компонентов сбалансированный, для солей – слабо положительный. Биотический круговорот практически замкнут, режим функционирования – периодический, стационарный.

Разнотравные луга на черноземно-луговых солонцевато-солончаковых почвах формируются в трансэлювиальных ландшафтах. Водный режим почв – периодически промывной, десуктивно-выпотной. Водная миграция определяется поверхностным стоком. Баланс водных мигрантов для почвы отрицательный, для грунтовых вод – слабо положительный. Режим функционирования переходной с редкими флюктуациями. Эволюция идет в сторону остепнения и трансформации почв в лугово-черноземные.

Травяные болота на торфянисто-болотных сильно осолоделых почвах формируются в аккумулятивных ландшафтах. Водный режим почв – промывной слабо-десуктивно-выпотной. Водная миграция определяется поверхностным стоком и нисходящими растворами. Баланс водных мигрантов положительный. Режим функционирования переходной. Экосистемы эволюционируют в сторону болотно-солончаковых лугов в условиях отрыва от грунтовых вод и дальнейшего засоления.

Таким образом, эволюция экосистем на модельной катене, отражающей биогеоценотический покров южной части Западносибирской равнины, идет на фоне постепенного обсыхания территории и направлена в сторону остепнения фитоценозов, трансформации осолоделых, засоленных почв в черноземы.

Нельзя полностью изучить никакую систему, но можно сознательно и планомерно получить максимум информации о сложных биотических процессах, в результате которых в ходе эволюции возникают разные почвы и разные.

Литература

- Мордкович В.Г., Шатохина Н.Г., Титлянова А.А. Степные катены. Новосибирск: Наука, 1985. 117 с.
- Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1964. 230 с.
- Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. Новосибирск: Наука, 1974. Т. 1. 308 с.; 1976. Т. 2. 496 с.
- Титлянова А.А. Биологический круговорот азота и зольных элементов в травяных биогеоценозах. Новосибирск: Наука, 1979. 149 с.