

БИОТИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ – ПРЕГРАДА ВЫНОСУ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ПОЧВЫ

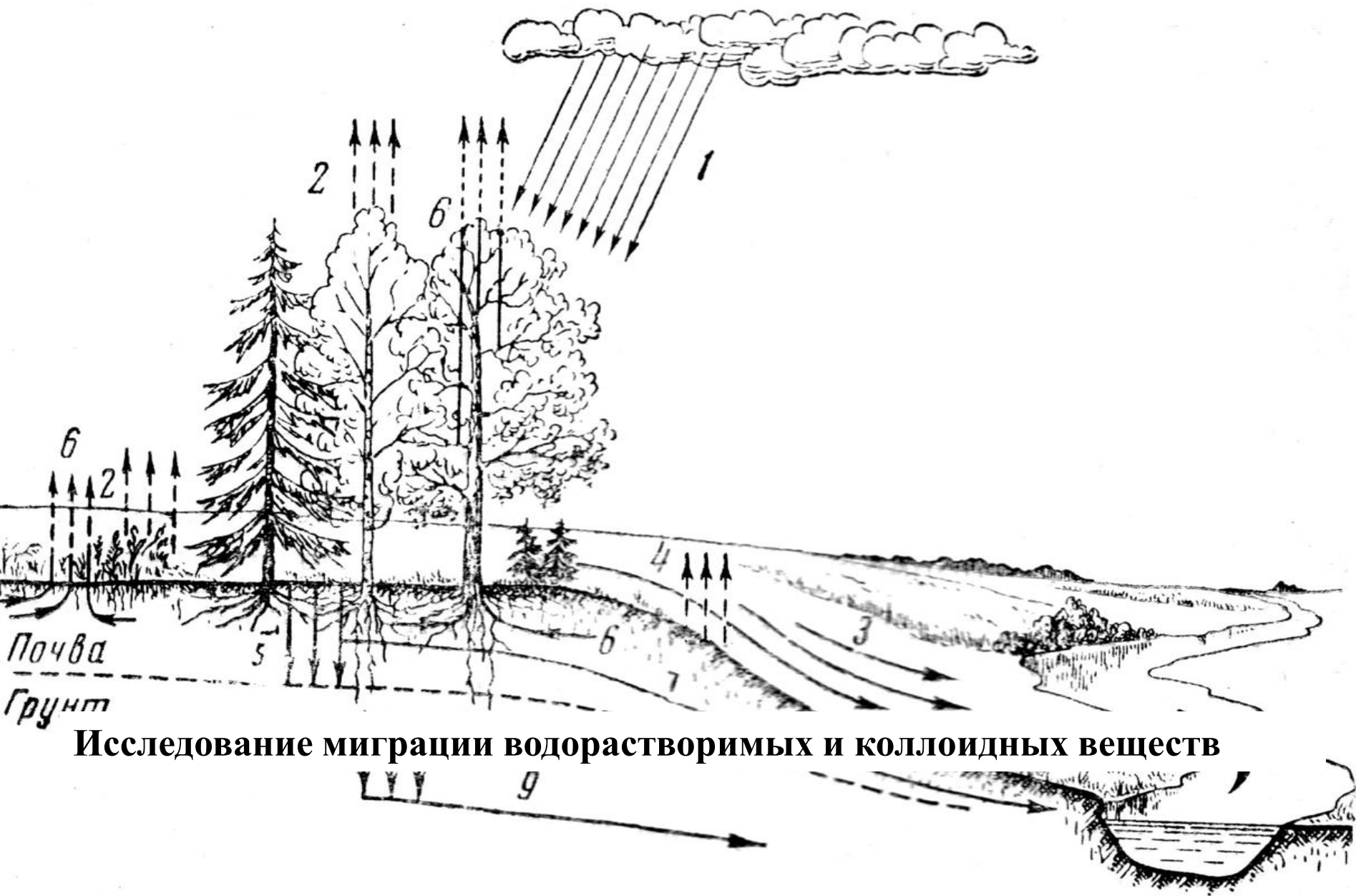
Институт почвоведения и агрохимии СО РАН



А.А. ТИТЛЯНОВА

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, выстно-поясном, 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].



Исследование миграции водорастворимых и коллоидных веществ

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 (табл. 1).

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

Элювиальный ландшафт, чернозем обыкновенный

Входные и выходные процессы, кг/га в год	Соли	Минеральные вещества (за исключением солей)	<i>C</i>	<i>N</i>
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

Трансэлювиальный ландшафт, черноземно-луговая почва

Входные и выходные процессы, кг/га в год	Соли	Минеральные вещества (за исключением солей)	<i>C</i>	<i>N</i>
Вход с атмосферными осадками и поверхностным стоком	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***

Входные и выходные процессы, кг/га в год	Соли	Минеральные вещества (за исключением солей)	C	N
Вход с атмосферными осадками и поверхностным стоком	3423	504	419	24,3
Выход с поверхностным и боковым стоком	2788	54	51	1,7
Баланс	+635	+450	+368	+22,6

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

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

Таблица 2

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

Позиция, экосистема	<i>C</i>	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca+Mg</i>	<i>S+Cl+Na</i>	<i>Si+Fe+Al</i>
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

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 ($S+C/+Na$) отличаются своим поведением от K , который также дает растворимые соли, но одновременно является элементом-биофилом.

Самая трудная часть работы – определение бюджета химических элементов. **Все процессы:** рост $G \rightarrow D \rightarrow L \rightarrow \Delta M$ (минерализация подстилки), а также $B \rightarrow V \rightarrow \Delta W$ (минерализация мертвых корней) **идут одновременно**. Требуются специальные опыты, чтобы разделить процессы.

Неравномерность распределения надземной и подземной фитомассы по пространству. Если взять рядом два почвенных монолита, то в них количество корней может отличаться вдвое.

Малый объем пробы для определения живых (B) и мертвых (V) подземных органов. Если для определения G берется каждый срок 10 площадок по $0,25 \text{ м}^2$, то для определения подземной фитомассы каждый срок отбирали всего 10 монолитов объемом 1 дм^3 до глубины 20 и 30 см.

Неопределенность методов.

При отмывке подземной фитомассы от почвы с помощью сит с ячейкой 0,5 мм – мельчайшие корни остаются в отмывной почве – теряем! При $d = 0,3$ мм мельчайшие комочки почвы, перевитые корнями, остаются на ситах и увеличивают оценку количества подземных органов. Разборка на живые и мертвые подземные органы субъективна. Нужна длительная совместная работа, чтобы у трех человек оценка долей мелких B и V совпадали. Размывка монолитов, отделение корней от почвы – утомительная тяжелая работа. Разделение мелких корней на живые и мертвые – это постоянное напряжение глаз. Нет методов технического разделения B и V . Всегда мало сотрудников и мало для дополнительной оплаты.

Решение теоретических трудностей

Для разделения процессов был поставлен специальный опыт, который продолжался три года. В **НАДЗЕМНОЙ СФЕРЕ** определение цепочки $G \rightarrow D \rightarrow L \rightarrow CO_2$.

- а.** Брали 10 площадок, на которых через 15-20 дней отбирали G , D , L , B и V
- б.** 10 опытных площадок, с которых постоянно убирается появившаяся ветошь. В результате имеем ΔD за сезон.
- в.** 10 площадок под сеткой, с которых срезана вся зеленая фитомасса, осталась подстилка, вся собираемая ветошь переносится на эти площадки
- г.** 10 площадок, где постоянно убирается выросшая G . Подстилка разлагается без поступления D . В результате имеем: ΔG , ΔD , ΔL , и ΔM – разложение L без добавления свежего материала.

ПОДЗЕМНАЯ СФЕРА. Определение ΔV и ΔW

Выкапывается 5 шурфов и из каждой стенки шурфа вынимаются по одному почвенному монолиту, с двух монолитов срезается G , все монолиты закладываются в пакеты из стеклоткани, ставятся на место и в течение всего сезона с двух монолитов срезают всю появившуюся фитомассу. Нет G , нет фотосинтеза, нет прироста B . Есть ΔV и ΔW (отмирание и минерализация). Кроме того, проводились специальные опыты по разложению мертвой подземной фитомассы в почве без поступления свежих порций V .

Для выщелачивания из надземных органов использовали кюветы с круглыми отверстиями – 25 отверстий на 25 см². Ранним летом в эти отверстия вставляем всю зеленую фитомассу данной площадки. Кювета слегка поднята над землей, есть слив и приемник. Ставится 10 кювет. Анализ растворов показывает вымывание элементов.

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

Таблица 4

Бюджет химических элементов за год (23.V. 1970 – 22.V. 1971), кг/га в год

Эле- мент	Всего потреб- лено из почвы	Перешло из		Закреп- лено в ветоши	Возвращено в почву				
		подзем- ных ор- ганов в над- земные	надземных органов в подземные		Выщелоч- ено осад- ками из надзем- ных органов	выделено прижиз- ненно из подзем- ных органов	при раз- ложении подстил- ки	при раз- ложе- нии подзем- ных орга- нов	Всего
<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	172,0	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

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. Отметим *Al* и *Fe*, которые на 80% закреплены в корнях.

Еще Аристовская предположила, что *Al*, *Fe* и *Mn* с помощью бактерий образуют налеты на корнях и даже трубочки вокруг корня. Эти трубочки можно увидеть под микроскопом при осторожном обращении с корнями, так как ломкие корни прочно связаны с почвенными частицами. В подземной сфере биотические процессы тесно связаны с абиотическими, и мы чаще всего не знаем, где проходит граница между органами подземной фитомассы и почвой.

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	0,05	0,01	0,49	0,03
Трансэлювиальная, мезофитный луг на черноземно-луговой почве	0,02	0,10	0,77	0,04
Аккумулятивная, травяное болото на торфяно- болотной почве	0,01	0,04	5,91	0,16

***- солевые компоненты; ** - несолевые компоненты**

Таким образом, интенсивность биотического круговорота превышает ежегодную миграцию различных элементов с водами в 10-100 раз

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.

Общие выводы:

- 1. Разработанный в Карачах метод минимальной оценки первичной продукции был взят на вооружение коллективами ученых, работавших в остепненных лугах и луговых степях Курской области, Приобья, Барабинской и Назаровской низменностей; в настоящих степях Казахстана, Хакасии и Забайкалья; в сухих степях Казахстана и Тувы; в опустыненных степях Тувы и Дагестана. Работы были начаты в 1965 году в Барабинской низменности и до сих пор продолжаются в Туве. Общее число лет исследования – 62 года.**
- 2. Установлено, что травяные экосистемы самые продуктивные экосистемы бореального пояса Земли. Их чистая первичная продукция достигает 20-40 т/га в год сухого вещества, что 2-3 раза превышает продукцию лесов той же зоны.**

3. Продукция зеленой фитомассы зависит от температуры и влажности вегетационного периода. Эти же факторы не влияют на продукцию корней, которая зависит от типа травяной ассоциации и ее местоположения на катене.

4. Травяной покров и пасущиеся животные – единая система. При любой, но постоянной нагрузке, чистая первичная продукция экосистемы сохраняется постоянной десятилетиями. Изменение пастбищной нагрузки немедленно включает сукцессию.

5. Оказалось, что процессы продуцирования асинхронны во времени и инверсионны в пространстве. Данный вывод означает, что на рост и развитие надземных и подземных частей растений действуют различные ансамбли факторов.

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ

