

ОСОБЕННОСТИ БИОГЕОХИМИИ ЛАНДШАФТОВ ТЕБЕРДИНСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Т.В. Дегтярева, Э.Н. Сутормина

*ГОУ ВПО «Ставропольский государственный университет»,
г. Ставрополь*

Рецензент Н.С. Попов

Ключевые слова и фразы: биогеохимическая структура ландшафтов; биологический круговорот; интенсивность биологического поглощения химических элементов.

Аннотация: Проводится анализ интенсивности биологического поглощения химических элементов растениями горных ландшафтов Тебердинского заповедника в зависимости от абсолютной высоты и экспозиции склона. Характеризуются особенности накопления химических элементов в древесном, травянистом, моховом ярусах растительности.

В настоящее время биогеохимическая структура ландшафтов рассматривается как одна из фундаментальных характеристик природных систем и их современного состояния. Ее формирование происходит в результате циклических и поступательных процессов массообмена химических элементов между живыми организмами ландшафтов и окружающей средой. По мнению М.А. Глазовской особенности биогеохимической структуры обусловлены видовым разнообразием организмов, входящих в состав биогеоценозов, характером биогеохимических отношений между отдельными ярусами и группами видов, их геохимической специализацией [3]. Особого внимания требует исследование естественной биогеохимической структуры заповедных территорий, где она должна стать важным объектом фонового мониторинга.

Объектом нашего изучения стали ландшафты Тебердинского государственного биосферного заповедника. Основные задачи исследований:

- анализ биогеохимической специализации растений Тебердинского заповедника, особенностей латеральной дифференциации биогеохимической структуры ландшафтов;
- выявление интенсивности биологического поглощения элементов растениями – доминантами растительных сообществ, степени мобильности элементов при смене эколого-геохимических условий.

Дегтярева Т.В. – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии СГУ; Сутормина Э.Н. – аспирант кафедры физической географии СГУ, г. Ставрополь.

Полевые исследования проводились в летний сезон 2006 г. на опорных участках, приуроченных к метеопунктам стационарного высотного экологического профиля хребта Малая Хатипара. Они охватили биогеоценозы нескольких ландшафтов и геоботанических высотных поясов: смешанных и хвойных лесов, березовых криволесий, субальпийского, альпийского и субнивального [7].

Отбор образцов растительности и почв (85 образцов) проходил в каждом высотном поясе, с максимально возможным охватом биогеохимических вариантов ландшафтов, с учетом положения в катене и экспозиции склона. Определение содержания кислоторастворимых форм микроэлементов проводилось методом вольтамперометрического анализа. Нами рассмотрена группа биогенных элементов с высокой миграционной способностью: цинк, медь, свинец и кадмий. Эти элементы имеют неодинаковое физиологическое значение для растений, вовлечение их в биологическую миграцию также неодинаково и не зависит от их концентрации в почвах и горных породах. Интенсивность биологического поглощения (K_6) данных элементов выступает одним из показательных параметров при анализе вовлечения вещества в систему биологического круговорота (БИК).

Хребет Малая Хатипара является северным отрогом Бокового хребта, образует в пределах Тебердинского заповедника часть левого склона долины реки Теберды [6]. Биогеохимическое своеобразие района исследования определяется монолитным субстратом (бескарбонатные калиевые верхнепалеозойские граниты), господством трансэлювиальных комплексов, значительными колебаниями высот в пределах профиля, четко выраженными гидротермическими различиями между северо-восточными и юго-восточными склонами. В климате прослеживается уменьшение температуры воздуха и увеличение осадков с ростом абсолютной высоты, что вызывает высотную поясность почвенно-растительного покрова. У подножия склона на высоких террасах р. Теберды чередуются буково-пихтовые и сосновые леса с луговыми ассоциациями на горных аллювиальных почвах. На склонах трогов до высоты 2000–2100 м произрастают хвойные леса (на склонах южной экспозиции – сосновые, на склонах северной экспозиции – пихтовые) с образованием бурых горно-лесных почв. Выше распространены сосновые и пихтово-сосновые редколесья на грубо-скелетных бурых лесных почвах, березовые криволесья на горно-кустарниковых почвах.

В пределах высот 2400–2700 м находятся высокогорные субальпийские и альпийские луга на светло-бурых горно-луговых почвах. При дальнейшем увеличении абсолютной высоты формируется разорванный мало-мощный растительный покров субнивального пояса. Явные экспозиционные различия в температурном режиме, характере увлажнения склонов (северо-восточный сильнее увлажняется, юго-восточный более засушливый) определили дифференциацию луговой растительности. На юго-восточных склонах распространены более ксероморфные разнотравно-злаковые ассоциации, на северо-восточных склонах – мезоморфные злаково-разнотравные.

Структура биогеохимического круговорота в ландшафтах зависит как от биогеохимической специализации растений, так и от геохимических особенностей ландшафтной среды. В горах вся совокупность вертикальных поясов, расположенных на одном склоне и тесно связанных между собой поверхностным и подземным стоком, объединена эффектом геохимического сопряжения [5]. В пределах высотно-экологического профиля от вершины к подножию складывается целостная сопряженная система элементарных ландшафтов, в которых сохраняются основные условия жизнедеятельности биоты и формируется определенная система биотических и биокосных связей биогеохимического круговорота вещества [4].

Большое значение в перераспределении элементов в ландшафте имеет трансформация опада растительности, через которую осуществляется обратная связь между растительностью и почвой. Растительный опад служит временным резервуаром, куда выводятся из миграции значительные массы элементов. В сформировавшихся ненарушенных фитоценозах количество и состав потребляемых из почв на построение годичной продукции и возвращаемых с опадом в почву химических элементов тождественны [2].

Для опада всех типов растительности высотно-экологического профиля характерны значительные концентрации элементов, что связано как с их относительным накоплением, так и с поступлением минеральных примесей из почв. При этом содержание элементов в растительном опаде отражает видовую биогеохимическую специализацию доминантов растительных сообществ. Опад сосновых лесов очень интенсивно аккумулирует кадмий ($K_6 = 3,9$) и медь ($K_6 = 1,75$). В опаде буковых лесов отмечается повышенное накопление меди ($K_6 = 4,3$) и свинца ($K_6 = 1,4$). Опад пихтовых лесов осуществляет интенсивно круговорот меди ($K_6 = 1,16$). В круговороте цинка по концентрации химических элементов в массе опада выявляется более ощутимая роль березовых криволесий ($K_6 = 1,4$).

Важным фактором регулирования объема химических элементов, мигрирующих в системе биологического круговорота, выступает скорость разложения растительного опада. В пределах высотных поясов горных ландшафтов усиление бореальности климатических условий с высотой будет вызывать заторможенность циклов массообмена химических элементов и замедленность БИК. Миграционная способность элементов снижается, и происходит накопление значительного их количества в органическом веществе подстилок. В нижних частях у подножия склонов за счет более благоприятных гидротермических показателей биологический круговорот ускоряется – опад разлагается быстрее, элементы сразу вовлекаются в миграционные потоки. Это четко проявляется на склонах юго-восточной ориентации, где максимальная аккумуляция элементов в опаде сосновых лесов характерна для верхней части профиля, а в опаде нижних частей профиля содержание элементов заметно ниже (свинца и кадмия в 5 раз, меди в 4 раза).

На северных склонах четкой зависимости между сменой гидротермических условий с высотой и интенсивностью биологического круговорота нет. В опаде пихтовых лесов максимальное биопоглощение элементов идет в средней и нижней части профиля. Содержание меди и цинка, ин-

тенсивность их накопления в опаде соответствует латеральному распределению этих элементов в почве. В целом отмечается очень слабая контрастность в поступлении элементов в опад по различным частям северо-восточных склонов профиля, за исключением свинца, который накапливаясь, слабо выходит из состава растительного опада верхних склонов.

О скорости трансформации продуктов опада растительности можно судить по количественному соотношению элементов в живом и мертвом органическом веществе. Так, в опаде сосновых лесов верхних и средних склонов профиля количество биогенных элементов в мертвом органическом веществе подстилки больше, чем в живой биомассе. В пихтовых лесах это характерно для свинца и кадмия. В березовых криволесьях верхних частей склонов кадмия, меди и цинка больше в подстилках, чем в живых органах березы. В то же время, в нижних трансаккумулятивных ландшафтах профиля складываются обратные соотношения за счет более интенсивного разложения растительного опада. В буковых лесах количество элементов в опаде меньше, чем в биомассе, хотя абсолютное значение масс элементов в опаде весьма большое.

Общая биогеохимическая особенность рассматриваемых лесных биогеосистем – продолжительное задерживание поглощенных химических элементов в живом веществе. Замедленность движения масс элементов в системе биологического круговорота в лесных экосистемах усиливается тем, что основная часть биомассы (около 80 %) находится над почвой [4]. И отмирающие части растений опадают на ее поверхность и образуют обильную лесную подстилку.

В целом биологическое поглощение зольных элементов в органах лиственных пород сильнее, чем в хвойных (табл. 1). В хвое содержание свинца в среднем составляет 0,02...0,58 мг/кг, в то время как в листве – 0,45...1,74 мг/кг. Содержание меди в ветках сосны 2,49...5,24 мг/кг, содержание в ветках бука и березы 4,3...10,2 мг/кг. Кора бука активнее накапливает свинец, медь, а кора березы – кадмий и цинк. Таким образом, абсолютное количество всех минеральных элементов, участвующих в биологическом круговороте под пологом широколиственных лесов, выше, чем в хвойных.

Таблица 1

**Интенсивность биологического поглощения элементов
в органах растений**

Органы растений	Pb	Zn	Cd	Cu
Сосна, хвоя	0,03	0,26	0,35	0,76
Пихта, хвоя	0,09	0,4	0,7	1,25
Береза, листья	0,16	0,95	4,8	0,85
Бук, листья	0,07	0,34	0,48	2,26
Сосна, ветки	0,14	0,38	2,6	0,65
Береза, ветки	0,28	0,9	4,5	0,6
Пихта, ветки	0,21	1,08	0,36	1,8
Бук, ветки	1,1	0,99	0,6	3,6
Сосна, кора	0,009	–	0,9	–
Береза, кора	0,14	1,3	1,35	0,48

По соотношению фракционных частей фитояруса в лесах преобладает надземная фитомасса одревесневших органов растений, где сосредотачиваются основные запасы элементов с низкой скоростью оборота, приводящей к консервации вещества [1]. Функцию активизации вовлечения вещества в БИК выполняют фотосинтетически активные органы деревьев – хвоя и листья, которые увеличивают емкость оборота микроэлементов.

Растения разных видов неодинаково поглощают элементы, которые неравномерно распределяются по органам и тканям (коэффициент биологического поглощения K_6 достигает 1...10,0 и более). У сосны свинец, кадмий и цинк интенсивнее всего накапливаются в тонких ветках, медь – в коре и корнях. У пихты максимальная концентрация свинца, меди и цинка также происходит в ветках, кадмия – в корневой системе. Хвоя отличается несколько меньшим содержанием микроэлементов, на что могут влиять дожди, активно смывающие и вымывающие элементы с фотосинтезирующих органов. Тем не менее, у березы именно в листьях идет максимальная концентрация кадмия и меди, а по аккумуляции цинка превышает листья только кора.

Каждый вид растений характеризуется присущими ему особенностями распределения элементов в морфологических органах. В некоторых случаях эти особенности сохраняются не зависимо от ландшафтного положения местообитания растения в геохимическом сопряжении. У сосны устойчивый характер распределения элементов по всему высотно-экологическому профилю присущ для тонких веток ($Cd > Cu > Zn > Pb$), корней ($Cu > Cd > Zn > Pb$) и отчасти хвои ($Cu > Zn > Cd > Pb$). У березы по всему профилю не меняются особенности распределения элементов в ветках и листьях ($Cd > Zn > Cu > Pb$), корнях ($Zn > Cu > Cd > Pb$). Однако при одинаковом характере распределения элементов в органах растений по профилю изменяется интенсивность поступления в них элементов. Так, у сосны накопление свинца и меди в ветках, свинца и кадмия в хвое более интенсивно происходит в верхних частях профиля, а накопление цинка в хвое, кадмия в ветках, меди в корнях сильнее протекает в нижних подчиненных ландшафтах. В средней части профиля активнее идет аккумуляция цинка в ветках, меди – в хвое.

По профилю северо-восточных склонов более бореальные гидротермические условия протекания БИК сильнее влияют на характеристики распределения элементов в растениях. У пихты в различных частях профиля помимо смены интенсивности накопления элементов происходит нарушение идентичного характера распределения элементов в одном и том же органе растения. В верхних автономных ландшафтах ветками и корнями пихты цинк захватывается сильнее меди и кадмия, а в средних частях профиля наоборот – поглощение цинка снижается (в 7 раз в ветках и в 2 раза в корнях) и становится меньше накопления меди и кадмия, которые максимально концентрируются в этих условиях.

Наиболее мобильным в биологическом круговороте биогеоценозов является травянистый ярус. Травянистая растительность имеет максимальную скорость оборота зольных элементов: их ежегодное вовлечение в БИК на порядок выше, чем у одревесневших органов деревьев [1]. Однако

Таблица 2

**Интенсивность биологического поглощения в древесной
и травянистой растительности различных биоценозов**

Эле- мент	Пихтовый лес		Сосновый лес		Березовое криволесье		Буковый лес	
	дере- вья	злаки	дере- вья	злаки	дере- вья	злаки	дере- вья	злаки
Pb	0,15	0,06	0,076	0,045	0,22	0,06	0,87	0,15
Cd	0,62	0,05	1,004	1,17	2,8	0,95	0,58	0,48
Cu	1,3	1,04	0,72	0,75	0,63	0,57	3,16	0,7
Zn	0,77	0,53	0,27	0,27	0,99	0,57	0,66	0,44

при одномоментных исследованиях биогеохимическая активность деревьев выше, чем травянистых видов (табл. 2), за исключением пихты, в органах которой накопление элементов идет на одном уровне с травами.

Общим для злаков лесных и луговых биогеоценозов высотно-экологического профиля является интенсивное накопление кадмия. Злаки лесных сообществ также активно используют медь. Меньше всего травянистая растительность поглощает свинец. Интенсивность накопления элементов в злаках меняется в зависимости от местоположения в высотном профиле. Цинк сильнее всего аккумулируется злаками в условиях верхних и средних, наиболее крутых трансэлювиальных склонов. Аналогично в верхних частях профиля идет максимальное накопление меди и кадмия злаками пихтовых и сосновых лесов. Вероятно, в условиях более активной потери химических элементов растительные организмы адаптационно сохраняют устойчивое состояние вида за счет увеличения силы биологического захвата химических элементов.

В верхних элювиальных и трансэлювиальных ландшафтах наложение специфики систематического положения видов и эффекта геохимического сопряжения создает различный характер распределения элементов в злаках лесных и луговых биогеоценозов. В то же время в нижних трансаккумулятивных позициях злаки лугов и лесов имеют несколько сходный ряд биологического поглощения: $Cu > Zn > Cd, (Pb) > Pb, (Cd)$, что может определяться повышением общей трофности местообитаний в подчиненных ландшафтах. Высокие концентрации и большая доступность активно выщелачиваемых из элювиальных условий подвижных форм меди и цинка в почвах нижних частей профиля вызывает безбарьерное накопление злаками этих элементов.

Злаки и общий укос трав луговых биогеоценозов профиля также имеют неодинаковый характер биологического поглощения и распределения элементов. Но в пределах субнивального пояса и альпийских лугов распределение химических элементов в злаках и общем укосе трав становится практически идентичным. В данном случае это диктуется складывающимися геохимически достаточно сложными для растений элювиальными условиями миграции элементов (сильное выщелачивание и уменьшение

массы вовлекаемых в биологический круговорот химических элементов в результате снижения биологической продуктивности экосистем). Травянистым растениям приходится приспосабливаться к существующим ограниченным возможностям захвата биогенных мигрантов и сглаживать свою специфику биологического поглощения.

Вследствие различных почвенных условий, химических свойств элементов, биологических особенностей растений переход элементов из почвы в растения может быть весьма ограничен. Сами растения способны регулировать поток поглощаемых ими химических элементов. Так, экспозиционные различия в биологическом накоплении химических элементов злаками проявляются независимо от содержания элементов в почве. На юго-восточных склонах злаковые виды сосновых лесов более интенсивно поглощают кадмий, которого в почвах содержится в 10 раз меньше, чем на северо-восточных склонах. На северо-восточных склонах происходит более сильное поглощение злаками меди и цинка, причем и почвы северо-восточных склонов накапливают эти элементы больше, чем почвы юго-восточных склонов.

В луговых сообществах интенсивность поступления химических элементов из почвы в злаки всегда четко отражается на содержании элементов в золе растений. В лесных биоценозах только по свинцу и цинку уровень концентрации в растениях напрямую определяется их биологическим накоплением из почвы, то есть максимальные содержания элементов в золе злаков совпадают с наибольшей интенсивностью поступления элементов из почвы. Минимальное бионакопление по профилю также сочетается с низкими концентрациями элементов в золе злаков. Корреляция с содержанием элемента в почве при этом обратная: чем меньше содержание свинца и цинка в почве, тем сильнее интенсивность биологического поглощения злаками.

Массы меди и кадмия в злаковой растительности лесных сообществ не пропорциональны интенсивности их поглощения из почвы. При средних значениях содержания меди в золе злаков интенсивность накопления элемента самая сильная по профилю. Наибольшие содержания меди в золе злаков и одновременно при этом самый низкий уровень биологического поглощения складываются в условиях значительного элювиального выноса элемента в верхних частях профиля. В данном случае, вероятно, действует другой механизм адаптации растительности горных ландшафтов к активному выносу элементов из среды обитания. Растения не повышают интенсивность биологического поглощения элементов, а относительно накапливают их в своих клетках в виде прочных комплексных соединений.

Наряду с древесной и травянистой растительностью, поглощающей элементы из почвы, в горных ландшафтах широко представлена мохово-лишайниковая ассоциация. Мхи обладают особенно большой способностью к поглощению редких элементов и могут выдерживать более высокие концентрации металлов, чем сосудистые растения [4].

В среднем по профилю мхи накапливают очень интенсивно кадмий ($K_6 = 1,5$) и медь ($K_6 = 1,04$), более низкие показатели биологического по-

глощения для цинка ($K_6 = 0,61$) и свинца ($K_6 = 0,54$). Больше всего кадмия и цинка накапливают мхи под буковыми породами. В целом содержание свинца, меди и цинка в биофитах согласуется с направлением нисходящих потоков химических элементов, вызывающих их вынос в верхних частях профиля и относительную аккумуляцию в трансаккумулятивных позициях.

У мхов проявляются экспозиционные особенности накопления микроэлементов по северо-восточным и юго-восточным склонам. Поглощение мхами свинца в два раза выше на северо-восточных склонах ($K_6 = 0,76$), чем на юго-восточных ($K_6 = 0,31$). На северо-восточных склонах мхи также несколько больше поглощают медь и цинк. На юго-восточных склонах под сосновыми лесами идет более интенсивное накопление мхами кадмия.

Под березняками мхи поглощают свинец, кадмий и цинк безбарьерно, то есть между содержанием элементов в растении и в почвах существует прямая зависимость. Под пихтовыми и сосновыми лесами все эти элементы поглощаются мхами по барьерному типу – высокие содержания элементов в почве не сопровождаются адекватным увеличением их содержания во мхах.

Выводы

Проанализированные луговые и лесные (буковые, березовые, пихтовые, сосновые) биогеоценозы весьма существенно отличаются по особенностям биологического круговорота элементов. Наложение гидротермических особенностей по высотным поясам вместе с ландшафтным сопряжением усиливает неодинаковый характер интенсивности БИК и распределения химических элементов в растениях по вертикальному профилю горных систем.

В горах складываются экспозиционные различия в биогеохимической структуре потоков вещества в ландшафтах. Для южных склонов характерна более сильная геохимическая контрастность растительности. На северных склонах накопление элементов на сильном биогеохимическом барьере растительности превышает их вынос в результате интенсивного выщелачивания элементов.

Растительность горных ландшафтов вырабатывает различные механизмы адаптации к активному выносу элементов из среды обитания. Биогеоценозы элювиальных звеньев слагаются растительными популяциями, активно удерживающими элементы в биогеохимическом круговороте. В подчиненных более теплообеспеченных ландшафтах на пути миграционных внутриландшафтных потоков элементов существуют биогеохимические барьеры, которые благодаря высокой продуктивности слагающих их биогеоценозов ограничивают вынос элементов за пределы профиля.

Список литературы

1. Авессаломова, И.А. Биогеохимия среднетаежных ландшафтов юга Архангельской области / И.А. Авессаломова // Вестн. Моск. ун-та. Сер.5. Геогр. – 2006. – № 1. – С. 50–55.

2. Базилевич, Н.И. Продуктивность и круговорот элементов в естественных и культурных фитоценозах. – В кн. : Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах / Н.И. Базилевич, Л.Е. Родин. – Л. : Наука, 1971. – С. 5–32.

3. Глазовская, М.А. Факторы устойчивости биогеоценозов к техногенным воздействиями и критерии экологического нормирования / М.А. Глазовская // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду / под ред. Д.А. Кривошукского. – Пущино, 1984. – 240 с.

4. Добровольский, В.В. Основы биогеохимии / В.В. Добровольский. – М. : Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.

5. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – М. : Астрей-2000, 1999. – 768 с.

6. Салпагаров, Д.С. Тебердинский государственный биосферный заповедник в Карачаево-Черкесии / Д.С. Салпагаров // Тр. Тебердинского гос. биосферного заповедника. Вып. 19. – Ставрополь : Ставропольская краевая типография, 2000. – 332 с.

7. Шальнев, В.А. Ландшафты хребта Малая Хатипара / В.А. Шальнев // Сев. Кавказ. – Вып. 2. Вопросы физической и исторической географии. – Ставрополь : Изд-во СГПИ, 1973. – С. 55–66.

Features of Landscapes Biogeochemistry of Teberda reserve

T.V. Degtyaryova, E.N. Sutormina

Stavropol State University, Stavropol

Key words and phrases: biogeochemical structure of a landscape; biological circulation; intensity of biological absorption of chemical elements.

Abstract: The paper analyzes the intensity of biological absorption of elements by plants in mountain landscapes of Teberda Reserve depending on absolute height and an exposition of the slope. Features of accumulation of elements in woody, grassy and mossy layers of vegetation are characterized.

© Т.В. Дегтярева, Э.Н. Сутормина, 2008