

Дегтярева Т.В., Сивоконь Ю.В. Особенности вертикальной геохимической дифференциации Центрального Кавказа (на примере Цейского ландшафта) // Вестник Ставропольского государственного университета. – Ставрополь: Вестник СГУ, 2010. Вып. 69. – С. 57-66.

УДК 911.52

Особенности вертикальной геохимической дифференциации Центрального Кавказа (на примере Цейского ландшафта)

Ю.В.Сивоконь, Т.В.Дегтярева

U.V.Sivokon, T.V.Degtyarova

Ключевые слова: вертикальная геохимическая дифференциация, геоботанические высотные пояса, геохимическое своеобразие.

В статье анализируется вертикальная дифференциация геохимических показателей по высотным геоботаническим поясам горных ландшафтов Центрального Кавказа. Характеризуются особенности распределения химических элементов в почвенном и биотическом компонентах.

Неотъемлемой характеристикой ландшафтов горных территорий является их ярусность и высотная поясность. Принятое традиционное трехярусное ландшафтное деление гор (на низкогорные, среднегорные и высокогорные ярусы) отражает этапы формирования горной системы, характер экзогенного расчленения, климатические различия (Исаченко, 1991). В пределах ярусов гор на уровне вертикального внутриландшафтного подразделения выделяются доминантные и переходные геоботанические пояса (Шальнев и др., 2008). Внутри геоботанических поясов протекающие процессы тепловлагообмена формируют климатогенное поле однородности и создают оптимальные условия существования определенных типов растительности, почв, животного населения. Таким образом, геопространство каждого доминантного высотного геоботанического пояса отличают однородные климатические условия и сложившийся инвариант фито- и зооэлементов биоты, биокосного компонента. Переходные высотные геоботанические пояса сочетают в себе свойства двух пограничных доминантных поясов и отражают закономерности горного экотона, когда качество одного геопространства переходит в другое качество через серию количественных изменений (Шальнев, Юрин, 1997).

Вертикальная дифференциация ландшафтообразующих факторов в общей структуре горных ландшафтов проявляется также и в геохимических количественно-качественных различиях по высоте. Различное сочетание абиотических, биотических и биокосных

компонентов в пределах высотных геоботанических поясов обуславливает их геохимическую специфику и особенности. В отдельных компонентах и подсистемах в пространстве индивидуальных пересекающихся и накладывающихся одно на другое геохимических полей складываются природные вариации концентраций химических элементов. Наиболее четко естественное геохимическое своеобразие высотных поясов в горах можно проследить в заповедных районах, где оно должно являться важным объектом фонового мониторинга.

Изучение вертикальной геохимической дифференциации северных склонов Центрального Кавказа проводилось в пределах Цейского ландшафта троговых долин на территории Северо-Осетинского государственного природного заповедника (Шальнев, Николаев, Сивоконь, 2010). Были заложены пробные площадки в пределах трех геоботанических поясов: доминантного пояса сосновых лесов; переходного пояса сосновых редколесий, березовых криволесий и субальпийских лугов; доминантного пояса субальпийских лугов. На каждой площадке проведены почвенные, ботанические, зоологические и биогеохимические исследования. Содержание кислоторастворимых форм металлов (4 элемента) определялось в лаборатории почвоведения и геохимии ландшафта СГУ вольтамперометрическим анализом на полярографе АВС-1.1. В качестве информативных показателей для рассмотрения геохимических различий выбраны средние содержания элементов в гумусовом горизонте почв, растениях, представителях наземных беспозвоночных и мелких млекопитающих, а также интенсивность биологического поглощения элементов растениями.

Цейский ландшафт характеризуется наличием сильно расчлененного рельефа, многочисленными обнажениями коренных горных пород (более 40-50 % территории), абсолютными отметками более 3100 м, наличием ледниковых и гляциальных форм рельефа. Крутизна склонов в основном 30-50°, горизонтальных поверхностей практически нет, обнаженность до 30-40 %. Почвообразующими породами являются гранитоиды, геохимические особенности которых сильно трансформируются дефляцией и транзитом. Мощность рыхлых отложений неравномерна и, как правило, менее 1 м, но в местах с ледниковыми отложениями, конусами выносов и осыпями у подножья склонов достигает десятков метров.

Вертикальная геохимическая дифференциация между геоботаническими поясами идет в условиях избыточного увлажнения с кислым выщелачиванием, окислительной обстановкой, низкой минерализацией почвенных растворов и пониженными концентрациями химических элементов в почвах (Дьяченко, 2004). Для почв характерен легкий

гранулометрический состав (от супесчаных до среднесуглинистых) и переходный класс водной миграции $\text{Ca}^{2+}\text{Na}^+[\text{HCO}_3]$. К факторам, определяющим особенности миграции химических элементов, относятся также пониженная среднегодовая температура, резкое замедление биогенеза в зимний период, интенсивная механическая миграция.

Геоботанический пояс хвойных лесов распространен в диапазоне высот 1800-2200 м над у. м. Среди хвойных пород преобладает сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*). Видовое разнообразие травянистой растительности – 12 видов. Основу растительного покрова составляет разнотравье (93 %) и злаки (7 %), среди которых широко распространены черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus*), земляника лесная (*Fragaria vesca*), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*), ятрышник трехлистный (*Orchis triphulla*) и др.

Доминантом беспозвоночных травяного покрова (хортобионтов) определено принадлежащее к фитофагам семейство *Miridae*, составившее 100% отловленных особей. Видовое разнообразие хортобионтов представлено тремя видами: *Stenodema virens* (82%), *Lygus pratensis* (12%), *Notostira erratica* (6%). В структуре животного населения мелких млекопитающих выявлено присутствие трех видов: доминирует мышь малая (*Apodemus uralensis*), содоминантом является полевка гудаурская (*Cinomys Gud*) и фоновым видом – бурозубка кавказская (*Sorex Satunini*).

Под хвойными лесами в пределах пояса развиты горно-лесные бурые оподзоленные почвы, которые по щелочно-кислотным условиям относятся к классу среднекислых (рН=4,62-4,86). Накопление гумуса в почвах хвойных лесов более высокое, чем в поясе верхней границы леса и в поясе субальпийских лугов – 13,1%. В составе гумуса много свободных кислых органических соединений, вызывающих энергичное выщелачивание химических элементов из почв, что приводит к интенсивному снижению их концентраций.

На концентрацию и миграцию микроэлементов в почве оказывает влияние химический состав горной породы, поскольку минеральная часть любой почвы содержит в себе, в основном, те элементы, которые входили в состав материнской породы. В почвах по сравнению с кларками гранитоидов (Дьяченко, 2004) наиболее интенсивно рассеивается свинец (кларк рассеивания $K_p=7,0$) и цинк ($K_p=5,7$), несколько слабее медь ($K_p=3,8$).

Пределы колебаний содержания металлов в горно-лесных бурых почвах Цейского ландшафта составили для свинца 0,4-7,8 мг/кг, для кадмия 0,05-0,8 мг/кг, для меди 3,9-13,0 мг/кг, для цинка 4,6-12,6 мг/кг. Средние содержания цинка и меди в почвах хвойных лесов являются

максимально высокими для территории всего ландшафта и тесно коррелируют с уровнями гумусонакопления в этих почвах (табл.1). В данном случае обилие водорастворимых гумусовых соединений способствуют образованию комплексных и внутрикомплексных соединений металлов и их частичному закреплению в почве.

Таблица 1

Среднее содержание элементов (мг/кг) в почвах и представителях биоты пояса хвойных лесов

Элемент	Почва	Укос трав	Беспозвоночные хортобионты	Мелкие млекопитающие
Pb	4,1	1,01	6,3	0,6
Cd	0,4	0,18	0,4	0,08
Cu	8,4	3,02	6,5	0,7
Zn	8,6	3,7	6	5,3

На распределение химических элементов в почвах хвойных лесов значительное влияние оказывает антропогенный фактор, что показало сопоставление содержания элементов в почвах с одинаковыми ландшафтно-геохимическими условиями, но разным уровнем антропогенного воздействия. В почвах участка, близко расположенного к инфраструктуре дорог и рекреационным постройкам, практически по всем элементам выявлены превышения в содержании относительно почв более удаленных участков леса. Наиболее значительные изменения в концентрации свинца и кадмия (превышения в 19 и 16 раз соответственно). Содержание меди и цинка в антропогенно нагруженных почвах повышаются в 2,7 – 3,3 раза.

Растительность наряду с почвой является важным компонентом ландшафта, и в связи с этим имеет значение исследование накопления химических элементов растениями. Для характеристики биогеохимической специализации растений (рис.1) использован коэффициент биологического поглощения (A_x), представляющий отношение содержания элемента в золе растения к содержанию в гумусовом горизонте почв. Ятрышник трехлистный поглощает все анализируемые микроэлементы: Pb ($A_x=0,6$), Cd ($A_x=0,4$), Cu ($A_x=0,3$) и Zn ($A_x=0,5$). Черника накапливает в тканях Pb ($A_x=4,6$), Cd ($A_x=3,8$) и поглощает Cu ($A_x=0,7$) и Zn ($A_x=0,8$). Кислица обыкновенная интенсивнее всего накапливает свинец ($A_x=5,19$), равномерно одинаково накапливает медь и кадмий ($A_x=1,5$ и $1,2$) и поглощает цинк ($A_x=0,5$). В целом, для травянистой растительности хвойных лесов больше интенсивность поглощения свинца, чем цинка и меди, для которых биогеохимическое концентрирование ослаблено и $A_x < 1$.

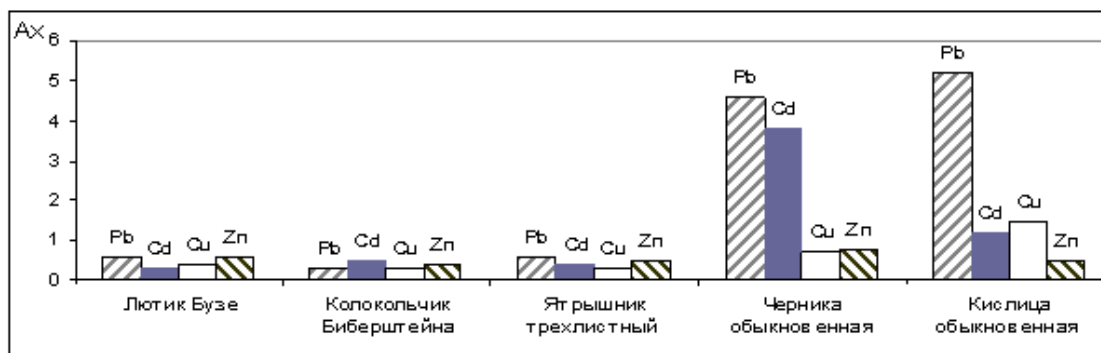


Рис.1. Биогеохимическая специализация растений хвойного леса

В организмах беспозвоночных представителей семейства *Miridae* содержатся более высокие концентрации микроэлементов по сравнению с концентрациями в образцах травянистой растительности, собранной методом укуса. Корреляционный анализ позволил выявить достоверные взаимозависимости между содержанием металлов в организмах насекомых и в растениях: сильная прямая корреляция у кадмия (коэффициент корреляции $r=0,9$) и цинка ($r=0,8$), и сильная обратная корреляция у свинца ($r=-0,7$) и меди ($r=-0,9$).

Уровни содержания металлов в организмах мелких млекопитающих отряда грызунов невелики и согласуются с выводами В.Н.Криволицкого (1983) о падении концентрации элементов по мере миграции их по пищевой цепи. Также обнаружена достоверная корреляция между содержанием металлов в организмах млекопитающих и в гумусовом горизонте почв: сильная у свинца ($r=0,9$) и кадмия Cd ($r=0,7$) и заметная у меди ($r=0,5$) и цинка ($r=0,6$).

Геоботанический переходный (эктонный) пояс верхней границы леса располагается в диапазоне высот 2200-2400 м над у. м., где из-за крутых склонов долины, активных процессов денудации и лавинных процессов выражен достаточно слабо. Здесь произрастают сосновые редколесья на скальных участках, березовые криволесья на горно-кустарниковых почвах и субальпийские луга в древних карах плеч трогов.

Древесный ярус березовых криволесий представлен березой Литвинова (*Betula litwinowii*), в кустарниковом ярусе растет рододендрон кавказский (*Rhododendron caucasicum*). В сложении травянистых фитоценозов преобладает разнотравье (50%), на втором месте бобовые (35%), злаки составляют 15%. Видовое разнообразие в пределах пробной площадки относительно высокое и составило 24 вида, что объясняется совместным произрастанием здесь представителей соседних доминантных лесного и субальпийского геоботанического поясов. Преобладает кульбаба щетинисто-волосистая (*Leontodon hispidus*), копеечник

кавказский (*Hedysarum caucasicum* Bieb.), клевер луговой (*Trifolium pratense*), иван-чай кавказский (*Chamerion caucasicum*) и др.

Для экотонного пояса характерно также достаточно богатое видовое разнообразие беспозвоночных хортобионтов из 8 видов, принадлежащих к семействам *Meridae* (89%), *Curculionidae* (7%) и *Miridae* (4%). Доминантными видами беспозвоночных являются слепняк луговой (*Lygus pratensis*), клопик странствующий (*Notostira erratica*) и др. Структура животного населения мышевидных грызунов представлена видами мыши малой (*Apodemus uralensis*), бурозубки кавказской (*Sorex satunini*), полевки дагестанской (*Microtus dagestanicus*).

Для почвенной среды гумусового горизонта горно-кустарниковых почв характерна слабокислая и нейтральная реакция (pH=6,1-6,7). Содержание гумуса колеблется в пределах 6,6-7,6%, при среднем содержании 7,1%. По сравнению с кларками гранитоидов рассматриваемые элементы интенсивно рассеиваются ($K_{Pb}=7,6$; $K_{Zn}=6,5$; $K_{Cu}=5,7$). Концентрация свинца, кадмия, меди и цинка в почвах колеблется в пределах 3,6 – 4,2 мг/кг, 0,5 – 0,7 мг/кг, 4,1 – 7,1 мг/кг, 5,8 – 9,2 мг/кг соответственно для каждого элемента (табл.2).

Таблица 2

Среднее содержание элементов (мг/кг) в почвах и представителях биоты экотонного пояса

Элемент	Почва	Укос трав	Беспозвоночные хортобионты	Мелкие млекопитающие
Pb	3,8	2,02	6,6	0,5
Cd	0,6	0,4	0,3	0,1
Cu	5,6	3,7	6,7	0,8
Zn	7,5	4,4	8,7	9,8

Металлоаккумулирующая способность растений определялась у доминантов травянистых фитоценозов экотонного пояса (рис.2). Иван-чай кавказский накапливает все исследуемые микроэлементы: свинец ($A_x=1,1$), кадмий ($A_x=1$), медь ($A_x=1,2$) и цинк ($A_x=1,4$). Кульбаба щетинистоволосистая поглощает свинец ($A_x=0,6$), медь ($A_x=0,9$), цинк ($A_x=0,6$) и накапливает кадмий ($A_x=3$). Мятлик альпийский накапливает свинец ($A_x=1,3$) и поглощает кадмий ($A_x=0,66$), медь ($A_x=0,4$) и цинк ($A_x=0,6$). В образце травяной растительности, собранной методом укоса, отмечается меньшая концентрация свинца (2,02 мг/кг), кадмия (0,4 мг/кг), меди (3,7 мг/кг) и цинка (4,4 мг/кг), чем в почве.

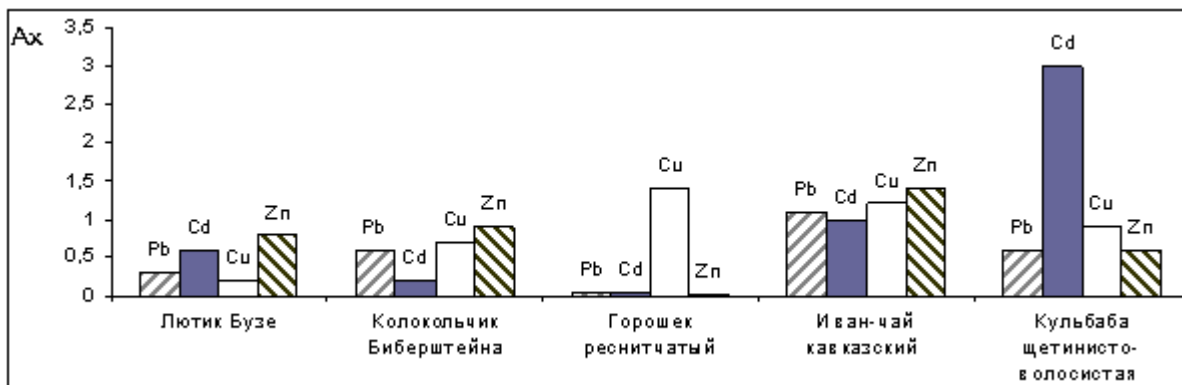


Рис.2. Биогеохимическая специализация растений экотонного пояса

В организмах хортобионтов семейства *Miridae* содержатся более высокие концентрации металлов по сравнению с другими компонентами ландшафта: свинца 6,6 мг/кг, кадмия 0,3 мг/кг, меди 6,7 мг/кг и цинка 8,7 мг/кг. Насекомые аккумулируют в своем теле химические элементы, участвуя тем самым в их перераспределении между компонентами ландшафтов (Савушкина, 2006). Содержание металлов в организмах беспозвоночных коррелирует с их содержанием в укосе травянистой растительности: заметная положительная корреляция у свинца ($r=0,5$) и заметная отрицательная у кадмия ($r=-0,5$), меди ($r=-0,6$) и цинка ($r=-0,6$).

Относительно невысокое накопление микроэлементов в организмах мелких млекопитающих свидетельствует о их небольшой роли в биогеохимическом концентрировании элементов в ландшафтах. Средняя концентрация металлов в организмах грызунов, обитающих в экотонном поясе, составляет для свинца - 0,5 мг/кг, кадмия - 0,1 мг/кг, меди - 0,8 мг/кг, цинка - 9,8 мг/кг. Обнаружена корреляция между содержанием элементов в организмах мелких млекопитающих и в почве: умеренная отрицательная корреляция у свинца ($r=-0,4$) и положительная у кадмия ($r=0,8$), меди ($r=0,5$) и цинка ($r=0,6$).

Геоботанический пояс субальпийских лугов распространен в диапазоне высот 2400-3100 м над у. м. Видовое разнообразие травянистой растительности в пределах пробной площадки исследования включает 21 вид. Существенная роль в травяном покрове принадлежит таким видам как астрагал Дмитрия (*Astragalus demitrii*), иван-чай кавказский (*Chamerion caucasicum*), кульбаба щетинисто-волосистая (*Leontodon hispidus*), лютик Бузе (*Ranunculus buhsei* Bois.) и др. Основную долю в фитомассе составляют разнотравные сообщества (56%), на бобовые и злаковые приходится по 22% всей растительности.

Население беспозвоночных травяного покрова и мелких млекопитающих имеет монодоминантную структуру. Видовое разнообразие хортобионтов субальпийского пояса составил один вид

семейства *Miridae* – слепняк луговой (*Lygus pratensis*). Животное население мелких млекопитающих также характеризует один вид – мышь малая (*Apodemus uralensis*).

Почвенный покров представлен маломощными горно-луговыми почвами, которые по щелочно-кислотным условиям близки к нейтральным (pH=5,78-6,0). Содержание гумуса ниже, чем в почвах хвойных лесов и экотонного пояса и изменяется от 3,8 до 4,3 %, при среднем значении 4,1%. В сравнении с кларками элементов в гранитоидах в горно-луговых почвах рассеиваются интенсивнее всего цинк (Kp=9,6) и медь (Kp=7,8).

Таблица 3

Среднее содержание элементов (мг/кг) в почвах и представителях биоты субальпийского пояса

Элемент	Почва	Укос трав	Беспозвоночные хортобионты	Мелкие млекопитающие
Pb	4,45	2,7	5,5	0,6
Cd	0,35	0,12	0,09	0,08
Cu	4,3	6,7	8,5	0,7
Zn	5,4	3,5	8,2	9,3

Концентрация свинца, кадмия, меди и цинка в почвах колеблется в пределах 4,3 – 4,6 мг/кг, 0,3 – 0,4 мг/кг, 4,0 – 4,5 мг/кг, 5,1 – 5,7 мг/кг соответственно для каждого элемента. Различий в содержании микроэлементов в почвах склонов разных экспозиций нет (табл.3).

Распределение микроэлементов в разных растениях травянистых фитоценозов субальпийского пояса имеет свои особенности (рис. 3). В лютике значительно усиливается накопление меди (до 7,9 мг/кг). Колокольчик Биберштейна, наоборот, ослабляет захват меди ($A_x=0,02$) и интенсивнее использует свинец ($A_x=0,8$). Очень активно концентрируется медь и цинк кульбабой ($A_x=3,5-2,7$). Практически на одном уровне накапливают свинец иван-чай кавказский, горошек реснитчатый и мытник сжатый ($A_x=1,1-1,3$).

Среднее содержание химических элементов в организмах беспозвоночных достаточно большое и составляет: свинца - 5,5 мг/кг, меди - 8,5 мг/кг, цинка - 8,2 мг/кг. Металлы попадают в организм животных и биоаккумулируются в них в процессе питания. Между содержанием элементов в организмах беспозвоночных и в травянистой растительности, которая выступает пищей для животных, выявлена положительная корреляция по всем элементам: сильная для меди ($r=0,9$) и цинка ($r=0,8$), заметная для свинца ($r=0,7$) и кадмия ($r=0,5$).

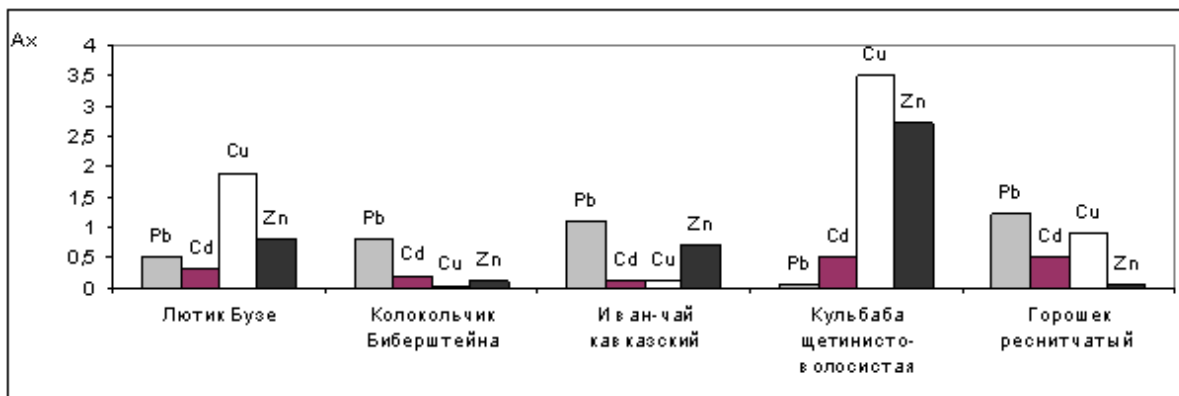


Рис.3. Биогеохимическая специализация растений субальпийского пояса

В мышечной ткани организмов мелких млекопитающих концентрация большинства рассматриваемых элементов заметно понижена относительно содержания их в растениях: Pb - 0,6 мг/кг, Cd - 0,08 мг/кг, Cu - 0,7 мг/кг. Только для цинка отмечаются очень значительные уровни накопления (до 9,3 мг/кг), превышающие содержание элемента в горно-луговых почвах.

Выводы:

На фоне единой зонально обусловленной направленности ландшафтно-геохимических процессов в горных ландшафтах развивается вертикальная изменчивость геохимических параметров. Различия в составе растительного покрова, животном населении, почвах и других ведущих факторах ландшафтообразования определяют геохимическое своеобразие высотных геоботанических поясов, обусловленное особенностями их биогеохимических круговоротов.

Почвы геоботанических поясов Цейского ландшафта троговых долин характеризуются невысокой контрастностью перераспределения химических элементов и пониженными концентрациями катионогенных элементов. Больше всего отличий по концентрации меди (в 2,05 раза), цинка (в 1,7 раза), кадмия (в 1,5 раза) и менее всего по концентрации свинца (в 1,1 раз). Анализ усредненных значений концентрации металлов для каждого геоботанического пояса показывает увеличение концентраций элементов с уменьшением высоты над у. м. от пояса субальпийских лугов к поясу хвойных лесов.

Содержание микроэлементов в одних и тех же растениях очень динамично и меняется в разных геоботанических поясах. Между содержанием химических элементов в почвах и растениях существует теснейшая взаимосвязь. Обнаружена сильная корреляция между содержанием элементов в гумусном горизонте почв и в корнях растений для меди ($r=0,6$) и цинка ($r=0,9$). Фактором, определяющим концентрацию микроэлементов в организмах беспозвоночных фитофагов, является

содержание элементов в растительности, в каждом геоботаническом поясе наблюдается высокая положительная корреляция.

Литература

1. Дьяченко В.В. Геохимия и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа: Автореф. дис. ... д-ра. геогр. наук. – Новороссийск, 2004.
2. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. – М.: Высшая школа, 1991.
3. Шальнев В.А., Конева В.В., Лагун С.Г. К вопросу о морфологии горных ландшафтов Западного Кавказа // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. №1 (11)/2008. Том 1 (Серия гуманитарные науки). – Тамбов: Изд-во Тамбовского гос. тех. университета, 2008. – С.74-79.
4. Шальнев В.А., Николаев Д.А., Сивоконь Ю.В. Ландшафты Цейского ущелья и внутриландшафтная дифференциация биоты мышевидных грызунов и беспозвоночных // Вопросы географии и краеведения: Материалы 3-й конференции членов Русского географического общества, Ставропольского отдела. Вып. 3. – Ставрополь, 2010. С. 85 – 95.
5. Шальнев В.А., Юрин Д.В. Ландшафтный подход в изучении экотона горных территорий // Вестник СГУ. – Ставрополь, 1997. – № 12.