Дегтярева Т.В., Сивоконь Ю.В. Объектные модели межкомпонентных связей (на примере фаций горных ландшафтов) // Вестник Ставропольского государственного университета. Вып. 74. - С. 154-162. – Ставрополь: Вестник СГУ, 2011.

УДК 911.52

Объектные модели межкомпонентных связей (на примере фаций горных ландшафтов)

Т.В.Дегтярева, Ю.В.Сивоконь
T.V.Degtyarova, U.V.Sivokon

Ключевые слова: модели геопространственных отношений, межкомпонентное перераспределение элементов, корреляционные зависимости.

Рассматриваются особенности различных видов моделей отношений в геопространстве; используется биогеохимический подход при анализе модели объектных межкомпонентных связей в фациях высотных геоботанических поясов горных ландшафтов Западного Кавказа.

The object models interconnect links (for example facies of mountain landscapes)

Key words: models of geospatial relations interconnect redistribution of elements, correlations.

The article discusses the features of different types of models of relationships in the geospatial, biochemical approach used in the analysis object model interconnect links in facies belts geobotanical tall mountain landscapes of the West Caucasus.

В современных географических исследованиях геопространственный подход позволяет рассматривать систему отношений в различных объектах, роль процессов в этих отношениях, используя для их изучения объектные, объект-объектные, субъект-объектные и субъект-субъектные модели. Согласно системным представлениям, любое геопространственное образование представляет собой систему, состоящую из элементов (в качестве которых выступают компоненты), организованных в структуру и обладающих специфическими функциями. Каждый компонент геосистемы

находится в определенных отношениях с остальными компонентами, обнаруживая при этом их свойства.

Категория «отношения» в отечественной философии является одной из основных и ее исходное значение предполагает «отношение между…»: между двумя (или несколькими) вещами, между субъектом и объектом. Несмотря на некоторые разноречия в представлениях об отношении, в целом категория «отношение» служит для обозначения реально относящихся, т.е. взаимодействующих друг с другом, вещей. Вне представления о взаимодействии, связи, отношении вещей и их свойств невозможны представления об объективной действительности.

В пространстве геосистем складываются связи и отношения разной степени непосредственности. Какие-то компоненты связаны непосредственно, т.е. «прямо» взаимодействуют друг с другом. В других случаях связи, отношения опосредованы целой цепью промежуточных отношений. Межкомпонентные отношения обозначаются как «внутренние отношения» в отличие от «внешних отношений», существующих между отдельными геосистемами или их свойствами. Хотя свойства компонентов выявляются во внешних отношениях и обнаруживаются при взаимодействии между компонентами, определяются эти свойства собственной внутренней сущностью каждого из компонентов. Как раз сущность «изнутри», внутренняя структура и состав определяет характер внешнего взаимодействия между компонентами, а значит, и отношения между ними.

Для природных ландшафтов характерна объектная модель отношений с «объективной взаимосвязью и взаимозависимостью» между природными компонентами и явлениями. В объектной модели оба взаимодействующих компонента находятся в одинаковом и объективном по своей природе отношении друг к другу. Природные и антропогенные компоненты ландшафтов могут вступать в различные виды связей, но все они относятся к классу объект-объектных отношений.

Объектные и объект-объектные модели отражают структурирование субстрата геопространства в разные типы геосистем, при этом взаимодействие и взаимосвязь компонентов можно исследовать через анализ вертикальных связей. Взаимосвязи обусловлены круговоротом субстрата, энергии и информации, в основе которых лежат физико-химические и биохимические процессы. Их особенности и коллективное взаимодействие рождают *условия (*природные, социальные, техногенные и т.д.*)*, необходимые для возникновения, существования или изменения чего-либо или кого-либо. Условия являются важной составляющей среды, отражая ее качественную сущность.

Субъект-объектные и субъект-субъектные отношения складываются в рамках биоценотической модели различных биоэкосистем ландшафта (Шальнев и др., 2008). Субъект модели или ее «хозяин» (биота, ее отдельные компоненты) находится в экоцентрических связях с остальными компонентами окружающей среды. При этом формируется качество среды и осуществляется два вида взаимодействий: воздействие компонентов окружающей среды на субъект и обратное влияние субъекта на остальные компоненты биоэкосистемы.

Основой образования отношений новых видов является универсальная специфика для всех живых организмов, которая состоит в постоянном обмене веществ с окружающей внешней природой. Однако на каждом уровне организации живого эти отношения обладают специфическими признаками. На уровне растений, например, такими признаками являются непосредственность и постоянство их взаимодействий со средой, а также зависимость активности внутренних процессов от внешних условий. В отличие от растений, отношения между животными и условиями их существования выходят на «новую, высшую и более свободную и более тесную связь между ними», так как активность отношений «идет уже не извне, а исходит из цикла внутренних процессов самого организма», которые «побуждают животное к поиску недостающих средств существования» (Косов, с.132-134).

Для описания различных классов и видов моделей отношений в ландшафтах незаменимыми являются биогеохимические методы и подходы. С их помощью взаимосвязь между различными компонентами может быть рассмотрена как массообмен и перераспределение химических элементов, приводящие к геохимической неоднородности субстрата компонентов. Межкомпонентные отношения количественно выражаются через показатели перераспределения химических элементов, корреляционные причинные зависимости между различными компонентами. Наличие высоких корреляционных зависимостей биогеохимических параметров косвенно свидетельствует о тесноте взаимоотношений компонентов.

Биогеохимическое изучение модели объектных отношений проводилось на территории ландшафтов долины реки Джалпак-Кол в пределах Гондарайского среднегорного долинного ландшафта хвойных лесов и Гондарай-Узункольского высокогорного водораздельного ландшафта луговых ассоциаций долин Гондарая и Узункола в пределах Бокового хребта, сложенного гранитами и гранитоидами палеозоя и четвертичными отложениями (Шальнев, 2004). Экспериментальные площадки заложены в пределах фаций 2-х геоботанических поясов:

экотона верхней границы леса и субальпийского, в диапазоне высот 2170 – 2600 м над у. м.

Рассматривались геохимические взаимосвязи и зависимости между подсистемами объектной модели фации «порода – почва», «почва – растения», «растения – насекомые», «почва – насекомые». Определение содержания валовых форм микроэлементов проводилось методом вольтамперометрического анализа. Изучались биогенные элементы с высокой миграционной способностью: цинк, медь, свинец и кадмий.

Растительность экотонного пояса верхней границы леса состоит из сосновых редколесий и березовых криволесий с полянами субальпийских лугов. Злаки травянистых фитоценозов экспериментальных площадок составляют 25% от всей растительности и 75% - разнотравье. Среди отловленных беспозвоночных наибольшая численность у семейства *Miridae,* представители которого по типу питания фитофаги. Среди беспозвоночных-хортобионтов были отловлены и представители зоофагов, в частности афидафаги, принадлежащие к семейству *Coccinelidae.*

Почвенный покров представлен горно-кустарниковыми почвами. По уровню кислотности эти почвы кислые и слабокислые: в гумусовом горизонте пределы колебаний pH – 4,9-5,8. Содержание гумуса в горно-кустарниковых почвах незначительно колеблется от 8,2 % до 9,4 %. Наиболее интенсивный процесс гумификации наблюдается в днище долины реки. В целом по геоботаническому поясу идет небольшое увеличение содержания гумуса с высотой. Изучение концентраций микроэлементов в биокосном (почве) и биотическом компонентах (травянистой растительности и насекомых травянистого яруса) фации экотона позволило выявить их средние фоновые значения (табл.1). Организмы насекомых характеризуются самыми низкими показателями концентрации элементов. Это объясняется падением концентрации микроэлементов по мере продвижения по биогеохимической цепи.

Таблица 1

Среднее содержание микроэлементов в почвах и биотических компонентах экотона верхней границы леса, мг/кг

Химический элемент	Почва	Укос трав	Насекомые
Pb	27,2	4,8	1,8
Cd	0,4	0,5	0,4
Cu	14,7	7,5	3,0
Zn	78,0	9,0	4,4

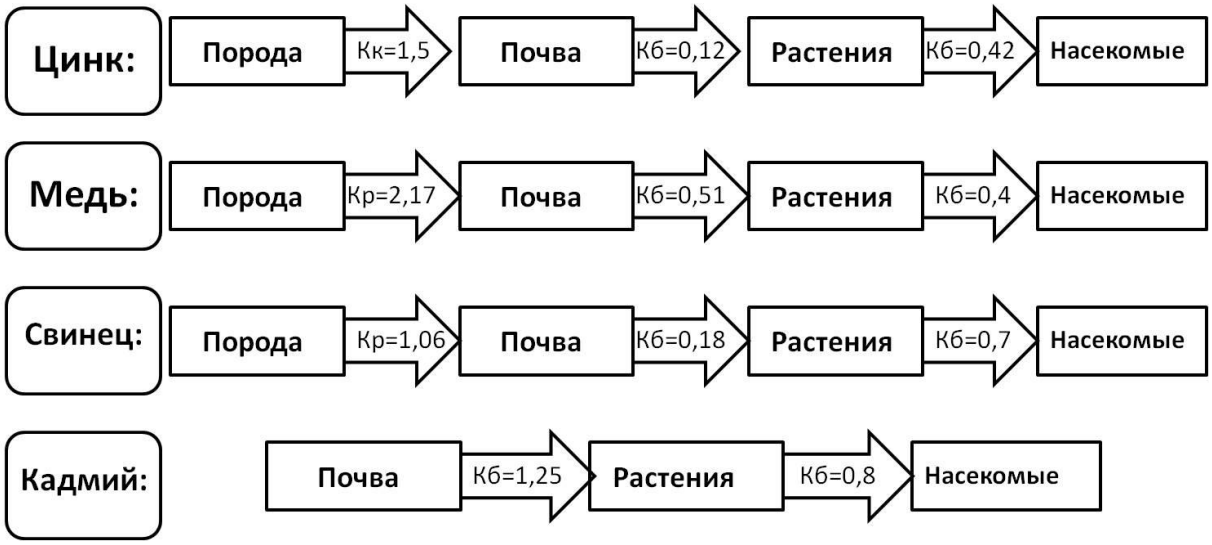

Рис. 1. Интенсивность межкомпонентного перераспределение элементов в зоне экотона верхней границы леса (КК – кларк концентрации, КР – кларк рассеяния, Кб – коэффициент биологического поглощения)

Расчет кларков концентрации (КК) и кларков рассеяния (КР), коэффициентов биологического поглощения (Кб) дает возможность определить интенсивность перераспределения химических элементов между горными породами, почвами, растениями и насекомыми (рис.1).

При сопоставлении содержания микроэлементов в горно-кустарниковых почвах почвах с кларками гранитоидов (Дьяченко, 2004) видно, что в почвах экотона интенсивнее рассеивается медь (КР=2,17) и более слабее свинец (КР=1,06), концентрируется цинк (кларк концентрации КК=1,5). В перераспределении элементов между почвой и травянистой растительностью наиболее интенсивна роль кадмия (Кб=1,25). На накопление микроэлементов растительными организмами оказывает влияние множество факторов, в связи с чем, уровни содержания микроэлементов в растениях колеблются. Наиболее распространенными видами в травянистых фитоценозах экотонного геоботанического пояса являются вейник наземный, герань луговая и щавель конский. Вейник наземный поглощает все рассматриваемые микроэлементы свинец (Кб=0,1),кадмий (Кб=0,8), медь (Кб=0,4), цинк (Кб=0,1). Герань луговая достаточно сильно накапливает кадмий (Кб=2,45) и поглощает свинец (Кб=0,9), медь (Кб=0,4), цинк (Кб=0,08). Аналогичная биогеохимическая специализация характерна для щавеля конского: сильное биологическое накопление кадмия (Кб=1,98), поглощение остальных элементов.

Принимая содержание элемента в почве за 100%, можно определить схему межкомпонентного соотношения масс микроэлементов в объектной модели фации. Соотношение масс элементов в почве, травянистых растениях и насекомых зоны экотона имеет различный размах вариаций и

составляет для свинца 100 : 17 : 6,6; для меди 100 : 50 : 20; для цинка 100 : 12 : 5,6; для кадмия 100 : 125 : 100. Эти соотношения показывают, что из почвы в биотические компоненты идет интенсивный массоперенос кадмия и меди.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между содержанием элементов в различных подсистемах фаций экотона

Элемент	Почва - растения	Растения - насекомые	Почва - насекомые
Pb	0,96	0,61	0,69
Cd	0,09	0,59	0,33
Cu	-0,25	0,4	0,24
Zn	0,88	0,38	0,64

Изучение корреляционных связей между подсистемами «почва – растения», «растения – насекомые», «почва – насекомые» позволило установить корреляционные зависимости (табл.2). В распределении масс элементов между почвами и травянистой растительностью (рис.2) наиболее достоверные связи обнаруживаются для свинца и меди (сильная корреляция соответственно по элементам r=0,96 и r=0,88). Между растительностью и насекомыми наибольшая зависимость проявляется для свинца и кадмия (заметная корреляция по элементам составляет r=0,61 и r=0,59). Такая связь объясняется тем, что доминирующее семейство беспозвоночных *Miridae* по типу питания является гербифагами – прямыми потребителями травянистых растений. Несмотря на отсутствие прямых путей поступления элементов из почвы в организмы насекомых, тем не менее, между содержанием тяжелых металлов в окружающей среде и теле насекомых существует теснейшая взаимосвязь: в подсистеме «почва – насекомые» обнаруживаются зависимость между содержанием свинца и меди (заметная корреляция по элементам r=0,52 и r=0,66). Насекомые аккумулируют в своем теле химические элементы, участвуя тем самым в их перераспределении между компонентами ландшафта.

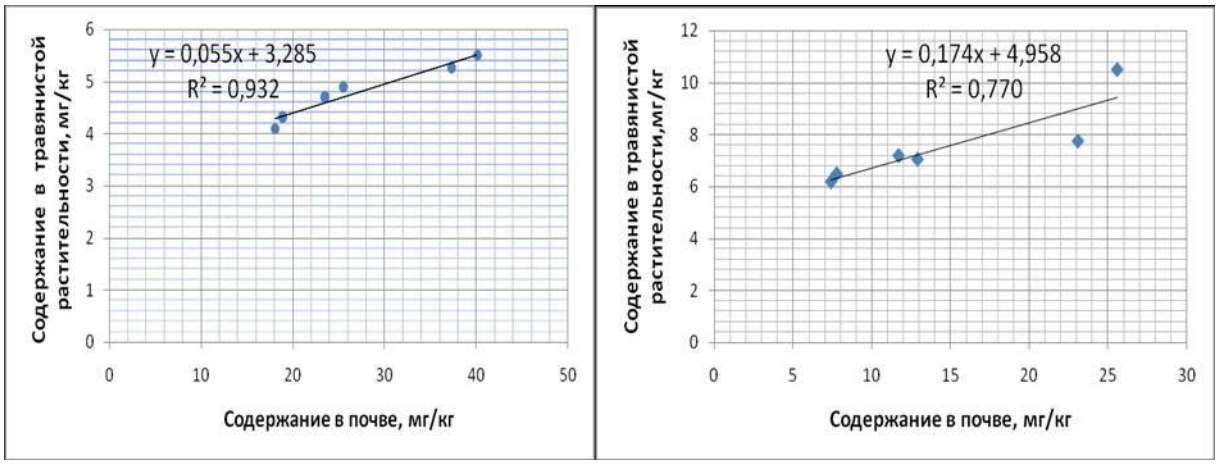

Рис. 2. Зависимость между содержанием свинца (слева) и меди (справа) в почве и в травянистой растительности зоны экотона

В целом в пределах рассматриваемых подсистем объектной модели фаций зоны экотона верхней границы леса межкомпонентные связи являются умеренными и заметными при значениях коэффициента корреляции от 0,4 до 0,54. Наиболее явная зависимость (на уровне заметной корреляции) в межкомпонентном перераспределении концентраций элементов проявляется в подсистеме «почва – растительность» (рис.3), т.е. химический состав растений в значительной степени отражает элементный состав почвенной среды. Согласно проведенному кластерному анализу, сходство по интенсивности проявления корреляционных связей между рассмотренными подсистемами характерно для свинца и меди (более высокая достоверность связей в перераспределении масс элементов) и для цинка и кадмия (слабая достоверность корреляционных связей).

Рис.3. Зависимость между концентрациями микроэлементов в подсистеме «почва – растения – насекомые» зоны экотона

В геоботаническом поясе субальпийских лугов заложено 3 экспериментальных площадки на территории Гондарай-Узункольского

ландшафта, в диапазоне высот 2300-2600 м над у.м. Избыточное увлажнение и дефицит тепла наряду с коротким периодом вегетации (2-3 месяца в году) определяет господство высокогорных субальпийских лугов на бурых горно-луговых почвах. Растительность данного геоботанического пояса преимущественно разнотравно-злаковая. Доминантными видами растительности субальпийских фитоценозов являются тимофеевка луговая *Phleum pratense,* горечавка семираздельная *Gentiana septemfida,* полевица тонкая *Agrostis tenuis*. Доминантным семейством отловленных беспозвоночных является *Acrididae.*

Горно-луговые почвы формируются в экстремальных биоклиматических условиях, отличающихся значительными годовыми и суточными перепадами температур, высокой солнечной радиацией. Особенностью горных почв является высокое содержание гумуса и его увеличение с увеличением абсолютной высоты (до 11,9%). Это является отличительной чертой гумуса горных почв, так как в его составе увеличивается количество не полностью гумифицированных остатков. Щелочно-кислотные условия характеризуются значением pH от 4,9 до 5,2. С увеличением высоты pH уменьшается.

Таблица 3

Фоновое содержание микроэлементов в почвах и биотических компонентах субальпийского пояса, мг/кг

Химический элемент	Почва	Укос трав	Насекомые
Pb	16	3,6	1,0
Cd	0,44	0,4	0,3
Cu	8,8	4,7	2,4
Zn	66,7	9,0	3,7

Изучение концентраций микроэлементов в биокосном (почве) и биотическом компонентах (травянистой растительности и насекомых травянистого яруса) объектной модели фации субальпийского пояса позволило выявить их средние фоновые значения (табл.3). Концентрации свинца, кадмия, меди и цинка в почве колеблются в пределах 15,3-16,8; 0,35-0,40; 6,7-10,3; 59,5-77,4 мг/кг соответственно для каждого элемента. В организмах беспозвоночных-хортобионтов, принадлежащих к семейству *Acrididae*, содержатся более низкие концентрации металлов.

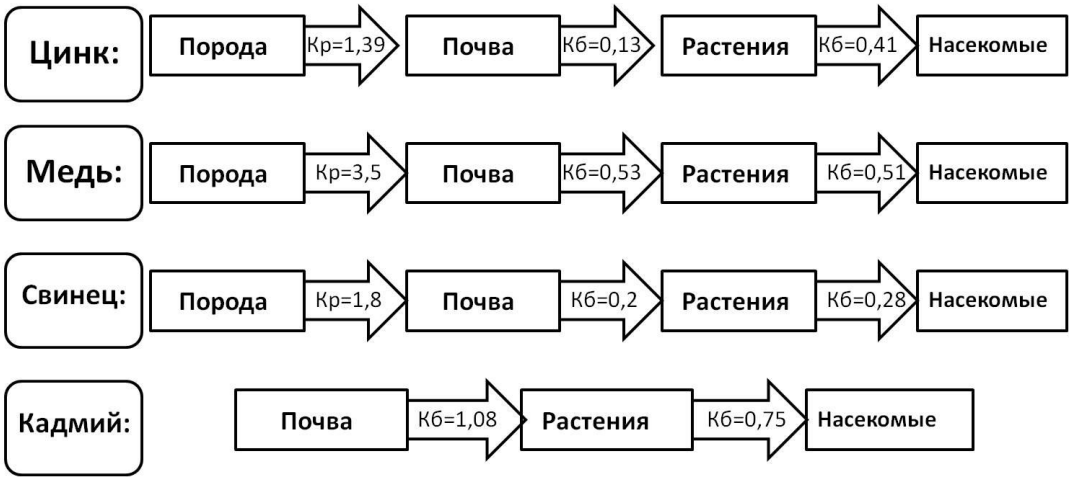

Рис. 4. Интенсивность межкомпонентного перераспределение элементов в субальпийской зоне (КК – кларк концентрации, КР – кларк рассеяния, Кб – коэффициент биологического поглощения)

Соотношение масс элементов в почве, травянистых растениях и насекомых в объектной модели фации субальпийской зоны составляет для свинца 100 : 22 : 6,2; для меди 100 : 54 : 27; для цинка 100 : 14 : 5,5; для кадмия 100 : 108 : 78. Эти соотношения показывают, что из почвы в биотические компоненты идет интенсивный массоперенос кадмия и меди, что находит подтверждение и в высоких значениях коэффициентов биологического поглощения для этих элементов (рис.4).

По сравнению с кларками гранитоидов в горно-луговых почвах субальпики рассеиваются свинец (КР=1,06) и медь (КР=2,17), концентрируется цинк (КК=1,39). Металлоаккумулирующая способность отдельных видов растений характеризуется тем, что все доминирующие виды растений – тимофеевка луговая, полевица тонкая и горечавка семираздельная сильно накапливают кадмий (Кб=1,15; 1,29; 1,9 соответственно для каждого вида растения). Одновременно эти же виды растений интенсивно рассеивают остальные исследуемые микроэлементы (Кб<1).Таким образом, самая высокая интенсивность перераспределения в подсистеме «почва – растения» субальпийской зоны характерна для кадмия (Кб=1,08).

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между содержанием элементов в различных подсистемах фаций субальпийской зоны

Элемент	Почва - растения	Растения - насекомые	Почва - насекомые
Pb	-0,11	-0,12	0,99
Cd	0,99	-0,86	-0,86
Cu	0,99	0,98	0,98
Zn	0,84	-0,79	-0,34

Изучение корреляционных связей между подсистемами объектной модели фаций субальпийской зоны позволило установить существующие межкомпонентные зависимости в распределении концентраций элементов (табл.4). В распределении масс элементов в подсистеме «почва - растения» (рис.4) сильные достоверные связи обнаруживаются для кадмия, меди и цинка (значения коэффициента корреляции соответственно по элементам r=0,99, r=0,99, r=0,84). Между растительностью и насекомыми наибольшая положительная зависимость проявляется для содержаний меди (сильная корреляция при значении r=0,98); сильная отрицательная зависимость в распределении кадмия (r=-0,86) и цинка (r= -0,79). В подсистеме «почва – насекомые» обнаруживаются достоверные положительные зависимости между содержанием свинца и меди (сильная корреляция по элементам r=0,99 и r=0,98) и отрицательная зависимость по концентрации кадмия (r=-0,86).

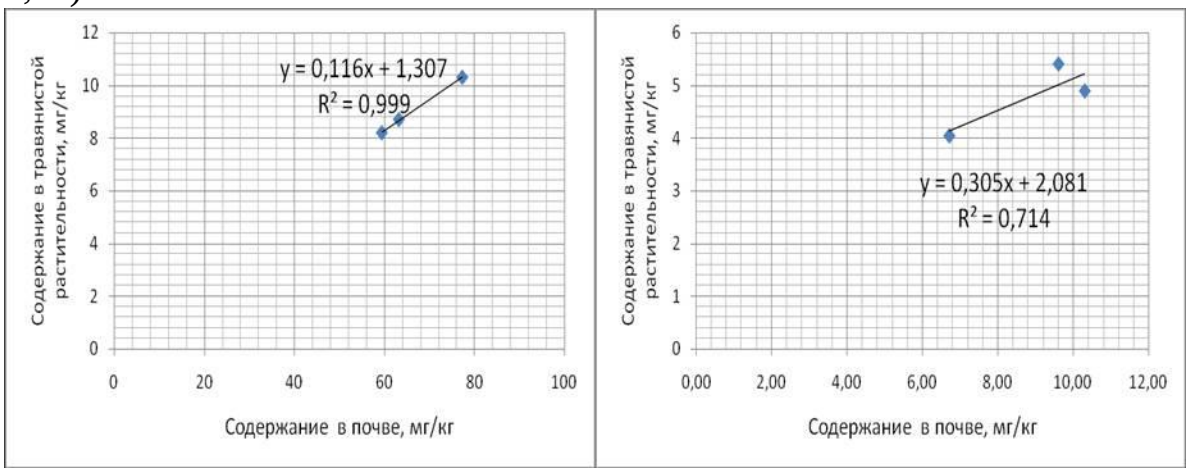

Рис. 5. Зависимость между содержанием цинка (слева) и меди (справа) в почве и в травянистой растительности субальпийской зоны

Для объектной модели фаций субальпийской зоны в пределах рассматриваемых подсистем межкомпонентные связи являются более высокими и относятся к категории заметных и сильных при значениях коэффициента корреляции от 0,69 до 0,79. Наиболее явная зависимость (на уровне заметной корреляции) в межкомпонентном перераспределении концентраций элементов проявляется в подсистеме «почва – насекомые» (рис.6), т.е. химический состав растений в значительной степени отражает элементный состав почвенной среды. Согласно проведенному кластерному анализу, сходство по интенсивности проявления корреляционных связей между рассмотренными подсистемами характерно для цинка и кадмия (более высокая достоверность связей в перераспределении масс элементов) и для свинца и меди (достоверность корреляционных связей несколько ниже).

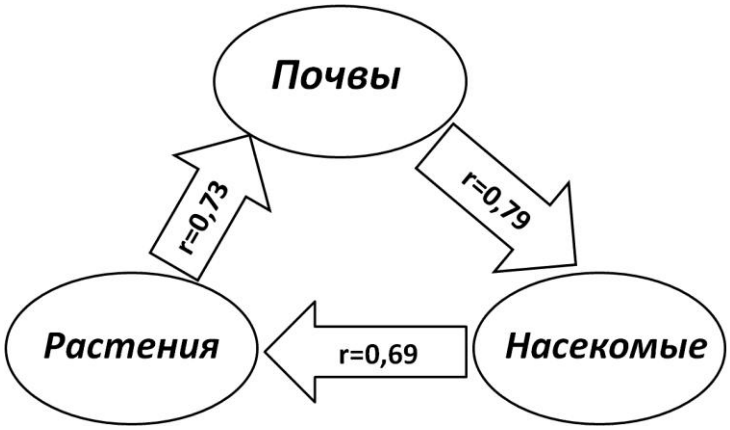

Рис.6. Зависимость между концентрациями микроэлементов в подсистеме «почва – растения – насекомые» фации субальпийской зоны

Сопоставление особенностей межкомпонентного перераспределения химических элементов по ландшафтно-геохимическому сопряжению геоботанических поясов обнаруживает определенные особенности в накоплении каждого элемента. Для системы «порода – почва» от экотонного пояса верхней границы леса до субальпийского пояса увеличивается интенсивность выноса из почвы меди (кларк рассеяния Кр от 2,7 до 4,9) и свинца (Кр от 1,06 до 3,04), незначительно снижается накопление в почве цинка (кларк концентрации Кк от 1,5 до1,12). В системе «почва – растение» в экотоном, субальпийском поясах постепенно увеличивается интенсивность биологического накопления растениями свинца (значения Кб соответственно по поясам: 1,18 – 0,2), меди (Кб: 0,51 – 0,53). В условиях более активного выноса свинца и меди из почв альпийского пояса растительные организмы адаптационно сохраняют устойчивое состояние за счет увеличения силы биологического захвата данных химических элементов. Для перераспределения кадмия это не характерно – его накопление травянистой растительностью к субальпийскому поясу снижается (значения Кб по поясам: 1,25 – 1,08).

Насекомые травяного покрова в подсистеме «растения - насекомые» также не отличаются постоянной интенсивностью накопления химических элементов. Значения коэффициента биологического накопления в организмах насекомых понижаются по ландшафтно-геохимическому сопряжению геоботанических поясов для меди (от 0,4 в экотоне до 0,27 в субальпийском поясе), для свинца (соответственно от 0,7 до 0,24); незначительно повышаются для кадмия (от 0,8 до 1,0) и цинка (от 0,42 до 0,47).

Таблица 5

Ряды химических элементов по возрастанию Кб в подсистемах «почва – растение» и «растения – насекомые»

Геоботанический пояс	Почва - растения	Растения- насекомые
Экотонный	Cd (1,25) > Cu (0,51) > Pb (0,18) > Zn (0,12)	Cd (0,8) > Pb (0,7) > Zn (0,42) > Cu (0,4)
Субальпийский	Cd (1,08) > Cu (0,53) > Pb (0,2) > Zn (0,13)	Cd (0,75) > Cu (0,51) > Zn (0,41) > Pb (0,28)

На основании рассчитанных коэффициентов биологического поглощения можно построить ряды аккумулирования рассматриваемых химических элементов, которые свидетельствуют о региональных особенностях миграции химических элементов в межкомпонентных системах (табл.5). Так, в системе «почва - растение» всех рассматриваемых геоботанических поясов интенсивно мигрируют кадмий и медь, наименьшая миграционная способность у цинка. В звене «растение – насекомое» также интенсивно аккумулируется кадмий. Полученные результаты частично находятся в согласии с установленной В.А.Алексеенко (2000) связью между уменьшением относительного биологического накопления химических элементов при увеличении энергетических коэффициентов их ионов. Среди рассматриваемой группы элементов самый высокий энергетический коэффициент у иона цинка.

Выводы. В результате проведенного исследования и анализа обширного массива данных выявились особенности проявлений межкомпонентных связей в объектных моделях на примере фаций горных ландшафтов:

- в объектной модели фаций зоны экотона верхней границы леса межкомпонентные связи в перераспределении элементов находятся на уровне умеренной и заметной корреляции, при этом более достоверными являются закономерности межкомпонентного распределения меди и свинца (медно-свинцовые связи);

- в объектной модели фаций субальпийской зоны межкомпонентные связи в перераспределении элементов находятся на заметном и сильном уровне корреляции, при этом более достоверными являются закономерности межкомпонентного распределения цинка и кадмия (цинково-кадмиевые связи);

Схема соотношения масс микроэлементов между подсистемами объектной модели фаций горных ландшафтов зависит от природы элемента, его биологической роли и в различных биогеохимических условиях геоботанических поясов размах варьирования находится

примерно в одинаковых пределах. Для свинца соотношение его масс в подсистеме «почва – растения – насекомые» составляет 100 : 20 : 6; для меди 100 : 55 : 22; для цинка 100 : 12 : 5.

Литература

1. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Академия наук СССР, 1950.
2. Дьяченко В.В. Геохимия и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа: Автореф. дис. … д-ра. геогр. наук. – Новороссийск, 2004.
3. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия. – М.: Логос, 2000.
4. Шальнев В.А. Ландшафты Северного Кавказа: эволюция и современность. – Ставрополь: Изд-во СГУ, 2004.
5. 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.