

**КВАСНИКОВА ЗОЯ НИКОЛАЕВНА**

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЛАНДШАФТЫ ТОМЬ-ЯЙСКОГО  
МЕЖДУРЕЧЬЯ  
(В ПРЕДЕЛАХ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Специальность 25.00.23 - Физическая география и биогеография,  
география почв и геохимия ландшафтов

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Томск – 2003

Работа выполнена в Томском государственном университете на кафедре географии

Научный руководитель: кандидат географических наук,  
доцент Хромых В.С.

Официальные оппоненты: доктор географических наук,  
профессор Козин Василий Васильевич  
доктор биологических наук,  
профессор Казанцев Владимир Аркадьевич

Ведущая организация: Томский филиал института леса и древесины  
СО РАН, г. Томск

Защита состоится 26 ноября 2003 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.267.13 при Томском государственном университете по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, Главный корпус

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Томского государственного университета.

Автореферат разослан 23 октября 2003 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат географических наук

Королёва Т.В.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность исследования.** Взаимодействие природы и общества – одна из актуальных проблем современности, изучается многими отраслями науки. Особое место среди них занимает ландшафтоведение, как часть физической географии, поскольку суперсистема «природа – общество» – входит в круг научных интересов физико-географов. Все элементы системы объединены бесчисленным множеством связей. С увеличением масштабов хозяйственной деятельности человека усиливается антропогенный пресс на природу, нередко приводящий к нарушениям установленных взаимосвязей и неблагоприятным для человека и природы последствиям. В связи с этим физико-географические исследования системы «природа – общество» и, в частности, природно-технические системы приобрели большое значение.

Необходимым условием при решении поставленной проблемы является комплексный подход к изучению окружающей среды, установление закономерностей развития и функционирования природных и антропогенных комплексов. Большое значение приобретает рассмотрение их свойств с позиций дочерней дисциплины ландшафтоведения – геохимии ландшафта, теоретические основы которой заложены в трудах Б.Б. Польшова (1944 – 1956), А.И. Перельмана (1954 – 1998), В.В.Добровольского (1962 – 1983), М.А. Глазвской (1962 – 1989), В.А. Алексеенко (1989 – 2000) и др.

Анализ литературных источников по геохимии ландшафта показал, что большинство публикаций, характеризующих исследования особенностей геохимической структуры ландшафтов, факторов миграции химических элементов в биогенных и техногенных ландшафтах, закономерностей распределения микроэлементов в компонентах, имеют отношение к крупным территориям Центральной России, Средней Сибири, Казахстана. Меньше подобных работ проводилось на территории Западно-Сибирской равнины. В связи с этим представляется актуальным изучение ландшафтно-геохимических особенностей юго-восточной части Западно-Сибирской равнины, издавна принадлежащей к сфере активной человеческой деятельности.

**Объектом исследования** выбрана территория Томь-Яйского междуречья, расположенная на юго-востоке Западно-Сибирской равнины. Земли Томь-Яйского междуречья, входящие в зону наибольшей биологической продуктивности на территории Томской области, в результате интенсивного антропогенного воздействия претерпели значительные изменения.

**Цель и задачи исследования.** Цель диссертационной работы – проведение ландшафтно-геохимического анализа территории, ее фоновой геохимической структуры на основе подготовленных автором разномасштабных ландшафтно-геохимических карт, а также выявление факторов, влияющих на миграцию химических элементов. В процессе выполнения данной цели решались самостоятельные, но взаимосвязанные между собой задачи:

– Изучение природных компонентов территории, играющих решающую роль в определении геохимического режима ландшафта;

- Исследование методик построения и классификаций ландшафтно-геохимических карт;
- Составление ландшафтно-геохимических карт разного масштаба для выявления особенностей горизонтальной структуры геохимических ландшафтов и установление ее изменений в процессе техногенеза;
- Выявление факторов миграции химических элементов в ландшафтах;
- Изучение фоновой геохимической структуры (радиальной и латеральной), характеризующей вертикальную и горизонтальную дифференциацию ландшафтов.

**Теоретическая и методологическая основа исследований** базируется на идеях и трудах в области геохимии ландшафта Б.Б. Польшова, А.П. Виноградова, А.И. Перельмана, М.А. Глазовской, В.В. Добровольского, В.А. Алексеенко и др. В необходимой мере учтен опыт региональных исследований по вопросам ландшафтно-геохимического картографирования (Авессаломова И.А., 1978, 1987; Алексеенко В.А., 1986, 1988; Гедымин А.В., 1967, 1985; Глазовская М.А., 1969, 1978; Добровольский В.В., 1962; Нечаева Е.Г., 1990, 1995, 1999, 2001 и др.), геохимических особенностей ландшафтов (Волкова В.Г., Давыдова Н.Д., 1987; Масилюнас Л.И., 1972; Семенов Ю.М., 1991; Снытко В.А., 1974; Хрусталева М.А., 2002; Шишкина Д.Ю., 2000; Щетников А.И., 1989 и др.).

**Методы исследования.** В качестве основных методов использовались: методы полевых ландшафтных исследований (площадная ландшафтная съемка и профилирование, отбор почвенных, снеговых проб, комплексный анализ природных факторов миграции химических элементов на ключевых участках), картографический (полевой, камеральный, сравнительный), математический, балансовый, метод генетических рядов и аналогий.

**Основные источники информации.** Основной объем фактического материала получен автором в ходе полевых и стационарных исследований 1995 - 2003 гг. на территории Томь-Яйского междуречья (в пределах Томской области). В работе использованы результаты количественного спектрального анализа 30 снеговых и 254 почвенных проб, отобранных автором, детальной инвентаризации 68 биогенных и техногенных элементарных геохимических ландшафтов. Кроме этого, были использованы фондовые материалы комитета по геологии и использованию недр, комитета по лесному хозяйству, научно-исследовательских институтов Томской области, кафедр геолого-географического и биолого-почвенного факультетов Томского государственного университета, общегеографические и тематические карты различных масштабов на исследуемую территорию, литературные источники.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

- Впервые для Томь-Яйского междуречья (в пределах Томской области) выполнено комплексное средне- и крупномасштабное ландшафтно-геохимическое картографирование территории (1:200000; 1: 25000). Проведен анализ морфологической структуры: выявлены три ландшафтно-геохимических района, в них 29 видов геохимических ландшафтов. При

крупномасштабном картографировании одного из районов выделено 74 вида элементарных геохимических ландшафтов;

– Определены ландшафтно-геохимические факторы миграции веществ в элементарных геохимических ландшафтах Лучановского стационара. Нами впервые для южно-таежных районов выявлена двоякая роль ветровой эрозии в усилении воздушной миграции химических элементов. Во-первых, она ведет к выносу химических элементов из почвы и переотложению их на различные расстояния от очага эрозии на снег; во-вторых, во время весеннего снеготаяния часть эоловых отложений уносится тальми снеговыми водами вниз по склонам пашни, тем самым, перераспределяя содержание химических элементов.

– Изучена латеральная и радиальная геохимическая структура элементарных ландшафтов в стационарных условиях. Латеральная миграция химических элементов в почвах Томь-Яйского междуречья заметно усиливается вследствие распашки земель и ускоренной водной эрозии.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Особенности природных компонентов ландшафтов Томь-Яйского междуречья, их состав и основные свойства обуславливают выделение трех ландшафтно-геохимических районов, различающихся по степени сложности горизонтальной структуры. При проведении классификации геохимических ландшафтов были выявлены 45 видов биогенных и 29 видов техногенных элементарных геохимических ландшафтов.

2. В каждом элементарном геохимическом ландшафте распределение химических элементов объясняется как природными факторами: поступлением с атмосферными осадками, внутрисочвенным стоком, элювиально-глеевыми процессами; так и техногенными причинами (распашка территории). Контрастность латеральной миграции ниже радиальной, однако, видна четкая тенденция к накоплению химических элементов при переходе от элювиальных ландшафтов к супераквальным;

3. Природные процессы, активизированные к жизни хозяйственной деятельностью человека, усиливают миграцию химических элементов в техногенных ландшафтах Томь-Яйского междуречья. Большое значение принадлежит ветровой эрозии, играющей двоякую роль в миграции веществ сельскохозяйственных ландшафтов Томь-Яйского междуречья.

**Практическая значимость работы.** Результаты ландшафтно-геохимических исследований могут быть использованы для оценки состояния локальных и региональных природно-антропогенных геосистем. Путем определения интенсивности миграции и дифференциации химических элементов, возможно не только охарактеризовать современные процессы, но и прогнозировать накопление в ландшафте или вынос из него полезных или вредных элементов и соединений. Поэтому полученные выводы важны для комитетов по экологии и охране окружающей среды, по земельным ресурсам и землеустройству, так как они включают в себя анализ геохимического влияния сельского хозяйства на природные геосистемы.

Отдельные разделы диссертационной работы используются автором при проведении лекционных и практических курсов: «Ландшафтоведение», «Геохимия ландшафтов», «Геофизика ландшафтов» на геолого-географическом, биолого-почвенном факультетах, международном факультете сельского хозяйства Томского государственного университета.

Исследования автора частично поддерживались двумя грантами (УР. 08.01.007; 015.08.01.23) научно-технического раздела: «Состояние геосистем и ресурсов поверхности суши» научной программы «Фундаментальные исследования высшей школы в области естественных и гуманитарных наук. Университеты России».

**Апробация и публикации результатов исследований.** Основные положения и отдельные разделы диссертационной работы обсуждались на научно-практических семинарах кафедры географии Томского государственного университета (2000 – 2003); были доложены и опубликованы в материалах региональных и международных конференций и совещаний (Томск, 1994, 1998, 1999, 2000 – 2003; Оренбург, 1999; Бийск, 2000; Иркутск, 2001; Барнаул, 2003; Новороссийск, 2003). По теме диссертационной работы опубликованы 14 работ, 3 находятся в печати.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и 7 приложений. Материал диссертации изложен на 180 страницах, содержит 31 таблицу и иллюстрирован 36 рисунками. Список литературы включает 233 источника.

Во введении обосновывается актуальность темы, определяются цель и задачи исследования, его объекты и методы, научная новизна и практическая значимость работы, формулируются основные положения, выносимые на защиту. В первой главе рассмотрены природные компоненты, играющие решающую роль в определении геохимического режима ландшафта. Вторая глава посвящена принципам классификации ландшафтно-геохимических карт и методике их построения, рассмотрен предшествующий опыт ландшафтно-геохимического картографирования различных территорий и предложена схема ландшафтно-геохимического картографирования района исследования. В третьей главе дан анализ структуры геохимических ландшафтов Томь-Яйского междуречья и ключевого участка - Западного геохимического района. В четвертой главе рассмотрены геохимические процессы в ландшафтах исследуемого района, определена роль атмосферных осадков, эоловой дефляции, водной эрозии в миграции веществ в природных и техногенных ландшафтах. В заключении подведены итоги исследований, сформулированы основные выводы.

Работа выполнена на кафедре географии геолого-географического факультета Томского государственного университета под руководством к.г.н., доцента В.С. Хромых, которому автор выражает искреннюю благодарность.

Автор выражает большую признательность к.г.н., доценту Н.С. Евсеевой за постоянное внимание и помощь в работе, к.г.н. Н.В. Осинцевой, А.И. Петро-

ву и другим сотрудникам кафедры географии, чьи советы и участие способствовали выполнению работы. Также автор благодарен А.В. Квасникову за всестороннюю поддержку в течение всех лет работы над диссертацией.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**1. Особенности природных компонентов ландшафтов Томь-Яйского междуречья, их состав и основные свойства обуславливают выделение трех ландшафтно-геохимических районов, различающихся по степени сложности горизонтальной структуры. При проведении классификации геохимических ландшафтов были выявлены 45 видов биогенных и 29 видов техногенных элементарных геохимических ландшафтов.**

Миграция и концентрация химических элементов в ландшафте определяется, с одной стороны, их химическими свойствами, с другой - условиями конкретной природной обстановки способствующей или, напротив, препятствующей проявлению этих свойств. Изучение природных компонентов исследуемой территории позволило построить типологическую карту схему геохимических ландшафтов Томь-Яйского междуречья (масштаб 1:200000). Для классификации выделяемых ландшафтов использована методика В.А. Алексеенко (1990; 2000). При анализе ландшафтно-геохимической структуры территории были выделены три района (Западный, Центральный и Восточный), различающиеся между собой характером морфологического строения.

Горизонтальная структура Западного геохимического района наиболее сложна по сравнению с остальными районами. Количество выделенных контуров (геохимических ландшафтов) составляет 171, что соответствует 60,6 % от общего числа. В Центральном и Восточном районах число контуров практически равное, составляет 56 - 55. Кроме того, Западный район отличается и видовым разнообразием выделенных контуров. На его территории представлены 22 вида геохимических ландшафтов из 29 возможных (Квасникова З.Н., 2002; 2003).

Площадные соотношения между ландшафтами в разных геохимических районах неодинаковы. Например, в пределах Западного района лесные ландшафты занимают 546 км<sup>2</sup>, что составляет 55,8 % от площади территории. В Центральном районе доля лесных ландшафтов увеличивается до 1285 км<sup>2</sup>, что составляет 89,6 % территории района. В распределении сельскохозяйственных земель картина иная. Так, как территория Западного геохимического района издавна принадлежит к сфере активной хозяйственной деятельности, то и площадь сельскохозяйственных техногенных ландшафтов составляет 279 км<sup>2</sup> (28,5%), что практически в два раза превышает площадь сельскохозяйственных земель Центрального района. Восточный район отличается схожим с Западным районом площадным соотношением ландшафтов. Доля лесных ландшафтов составляет 69,0 % территории. На втором месте по занимаемой площади – сельскохозяйственные земли (30,2 %).

Анализ структуры геохимических ландшафтов Томь-Яйского междуречья позволяет сделать следующие выводы:

1. Ландшафтно-геохимические районы Томь-Яйского междуречья различаются по степени сложности горизонтальной структуры. Наиболее разнообразной и сложной структурой отличается Западный геохимический район. Это также подтверждается ранее проведенными исследованиями особенностей природных условий района (литогенной основы, рельефа, растительного и почвенного покрова), влияющих на выделение контуров видов геохимических ландшафтов.

2. Степень сложности горизонтальной геохимической структуры участков влияет на изменение интенсивности миграции химических элементов, а также их концентрацию и рассеяние.

В дальнейшем исследования ландшафтно-геохимической структуры проводились нами на территории Западного геохимического района. Он расположен в центральной части Томского административного района и считается одним из ведущих сельскохозяйственных районов Томской области. Крупных промышленных предприятий здесь нет, но в 20 километрах на северо-западе расположен г. Томск. На территории участка находится Лучановский стационар, где в течение ряда лет сотрудниками Томского государственного университета проводятся комплексные физико-географические исследования. На эту территорию автором составлены ландшафтно-геохимический профиль и крупномасштабная (1:25000) типологическая карта-схема элементарных геохимических ландшафтов.

Анализ структуры разномасштабных карт позволяет сделать следующие выводы:

1. С увеличением детальности исследований до 1:25000 усложнилась мозаичность распределения всех ландшафтов центральной части Томь-Яйского междуречья. На территории ключевого участка Западного геохимического района автором выделены 74 вида элементарных геохимических ландшафтов.

2. Площадь техногенных ландшафтов, при детальных исследованиях, по сравнению со среднемасштабными, изменилась и составила примерно 43 %. Среди техногенных ландшафтов нами были выделены следующие группы: селитебные, сельскохозяйственные, промышленные и др. Среди биогенных ландшафтов преобладают леса. Кроме того, с увеличением детальности картографирования выделились ландшафты лугов, редколесий и болот. На изучаемой территории при среднемасштабном картографировании с учетом геоморфологического положения были выделены трасэлювиальные и элювиальные типы ландшафтов, преобладающие в изучаемом районе. С увеличением детальности исследования (1:25000) нами были дополнительно выделены элювиально-аккумулятивный, супераккумулятивный, аккумулятивно-элювиальный типы ландшафтов.



2. В каждом элементарном геохимическом ландшафте распределение химических элементов объясняется как природными факторами: поступлением с атмосферными осадками, внутрисочвенным и грунтовым стоком, элювиально-глеевыми процессами; так и техногенными причинами (распашка территории). Контрастность латеральной миграции ниже радиальной, однако видна четкая тенденция к накоплению химических элементов при переходе от элювиальных ландшафтов к супераквальным.

В процессе функционирования ландшафта в каждой его ячейке - элементарном геохимическом ландшафте - происходит миграция химических элементов. В результате одни химические элементы в больших или меньших количествах выносятся, другие – накапливаются. Определить степень подвижности химических элементов в почвах элементарных геохимических ландшафтов можно, применяя коэффициент радиальной дифференциации.

Серые лесные почвы элювиальных геохимических ландшафтов характеризуются малой мощностью гумусового горизонта. В результате водной и ветровой эрозии горизонты ВС и С приблизились к поверхности, а зачастую целиком входят в пахотный слой. Таким образом, вследствие ежегодной вспашки радиальная дифференциация металлов не очень сильно выражена (рис. 1).

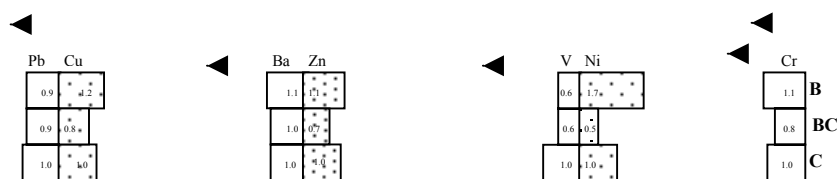


Рисунок 1 – Радиальная дифференциация микроэлементов в почвах элювиальных геохимических ландшафтов сельскохозяйственной катены Лучановского стационара

В целом наблюдается сокращение валового количества Pb, V в верхних горизонтах почв пашни. Содержание других металлов (Cu, Zn, Ba) по вертикальному профилю близко их концентрации в почвообразующей материнской породе.

Для трансэлювиальных агроландшафтов свойственно резкое усиление интенсивности механической миграции, отмечено снижение гумусности и отсутствие накопления микроэлементов в верхних горизонтах (рис. 2).

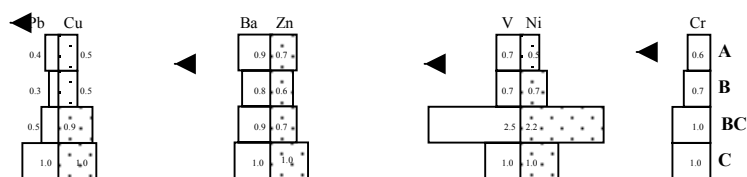


Рисунок 2 – Радиальная дифференциация микроэлементов в почвах трансэлювиальных геохимических ландшафтов сельскохозяйственной катены Лучановского стационара

Таким образом, суглинистые и глинистые горизонты почв значительно богаче микроэлементами супесчаных и песчаных горизонтов. Это хорошо прослеживается при анализе радиальной дифференциации металлов в профиле почв депрессий различного происхождения. Так, например, в суффозионных западинах Лучановского стационара, гранулометрический состав почв представлен комплексом средних и легких суглинков, а также глин. Здесь резко возрастает кислотность почвенного раствора до сильно кислой (рН 3,7 – 4,0); в 1,5 – 3 раза снижается сумма поглощенных оснований; возрастает объемный вес, при этом сокращается общая порозность аэрации. Перераспределение тонокодисперсных частиц по почвенному профилю и интенсивное вымывание их в горизонт В сопровождается увеличением в нем концентрации Cu, V, Ni (рис. 3).

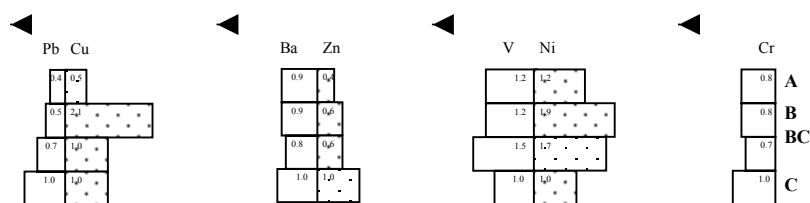


Рисунок 3 – Радиальная дифференциация микроэлементов в почвах аккумулятивно-элювиального геохимического ландшафта Лучановского стационара

В нижней части распахиваемого склона радиальная дифференциация химических элементов не обнаруживает закономерностей, так как вертикальный профиль почв представлен ежегодно намываемыми делювиальными отложениями. Пробы почв, в отсутствие четко выраженных генетических горизонтов, были отобраны через 20 сантиметров. При анализе полученных данных отмечаем, что концентрация Cu, Ba, Cr, Pb наблюдается в слое почв от 20 до 60 см. Во всей толще намывных почв количество V и Ni в 1,1 – 2,5 раза превышает их содержание в слое от 100 см и глубже (рис. 4).

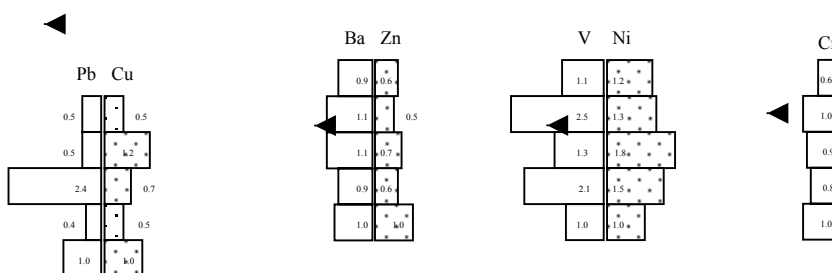


Рисунок 4 – Радиальная дифференциация микроэлементов в почвах трансаккумулятивного геохимического ландшафта Лучановского стационара

В серых лесных ненарушенных почвах отчетливо проявляется роль биогенной аккумуляции, результатом которой является обогащение гумусовых горизонтов микроэлементами. Отмечается приуроченность их максимальных концентраций к горизонту А1. Особенно характерно накопление свинца, бария, цинка, хрома в почвах супераквального ландшафта с кедрово-березовым высокотравным лесом на темно-серых оглеенных тяжелоуглинистых почвах. Уменьшению содержаний микроэлементов в почвах биогенной лесной катены способствует, главным образом, процесс выщелачивания. Он приводит к формированию хорошо выраженных зон выщелачивания (А2) с минимальным содержанием химических элементов и горизонтов вымывания (В), где они накапливаются. Таким образом, в ненарушенных серых лесных почвах биогенной катены зафиксированы два типа барьеров, препятствующих миграции элементов - биогеохимический и физико-химический (сорбционный).

Изучение процессов латеральной водной миграции в сельскохозяйственных ландшафтах Томь-Яйского междуречья проводилось нами в период весеннего снеготаяния. Латеральная (боковая) водная миграция представлена в зоне выщелачивания двумя процессами: перемещением (стоком) веществ по земной поверхности из одного ПТК в другой и диффузным движением вод в почвах.

Была предпринята попытка выявить особенности миграции микроэлементов наряду с их средними содержаниями в верхних горизонтах почв. Для этого автором были вычислены коэффициенты латеральной миграции ( $K_m$ ). Все анализируемые химические элементы, в зависимости от их содержания в верхних горизонтах почв элювиальных элементарных ландшафтов, можно разделить на три группы: микроэлементы с повышенным содержанием -  $K_m > 1$ ; микроэлементы с  $K_m = 1$ ; микроэлементы с пониженной концентрацией -  $K_m < 1$ .

В верхних горизонтах серых лесных почв эродированных трансэлювиальных ландшафтов пашни и намытых почв конуса выноса наблюдается пониженное содержание  $Cu$ ,  $Ni$ ,  $Cr$ ,  $Va$ , что свидетельствует о высокой миграционной активности данных микроэлементов. Богатые органическим веществом верхние горизонты почв (подстилка) аккумулятивных (супераквальных) элементарных ландшафтов заметно обогащены тяжелыми металлами по сравнению с прилегающими хорошо дренированными почвами склонов (табл. 1).

В трансэлювиальных лесных элементарных ландшафтах особенности поведения микроэлементов не нарушаются. Так же, как и в сельскохозяйственных катенах, происходит незначительный вынос тяжелых металлов из верхних горизонтов почв трансэлювиальных ландшафтов и аккумуляция их в подчиненных (супераквальных) фациях. По, мнению А.И. Щетникова (1989), объяснение следует искать не столько в химических свой-

ствах элементов, сколько в специфике геохимических и геоморфологических условий трансэлювиальных фаций.

Таблица 1 – Коэффициенты латеральной миграции микроэлементов на Лучановском стационаре

Элементарный геохимический ландшафт	Поведение микроэлементов		
	$K_m > 1$	$K_m = 1$	$K_m < 1$
<b>1. Техногенная сельскохозяйственная катена</b>			
Трансэлювиальный пашенный на серой эродированной тяжелосуглинистой почве	Pb, Zn	-	Cu, Ba, V, Ni, Cr
Аккумулятивно-элювиальный лесной ивовый осоково-высокотравный на светло-серых тяжелосуглинистых глееватых почвах	Pb, Zn, Cr	Ba, Ni	Cu, V
Трансаккумулятивный луговой кустово-разнотравный на серой лесной намытой мощной легкосуглинистой почве	Ni, Pb	Zn	Cu, Ba, V, Cr
Супераквальный лесной березовый высокотравный на темно-серой лесной глееватой суглинистой почве	Zn, Ni, Cr, Ba, Pb	Cu, V	-
<b>2. Биогенная лесная катена</b>			
Трансэлювиальный лесной кедровый мелкотравно-зеленомошный на серых лесных оподзоленных суглинистых почвах	Pb, Cr	Zn	Cu, V, Ni, Ba
Супераквальный лесной кедрово-березовый высокотравный на темно-серых оглееных тяжелосуглинистых почвах	-	-	Pb, Cr, Zn, Cu, V, Ni, Ba

В трансэлювиальных лесных элементарных ландшафтах особенности поведения микроэлементов не нарушаются. Так же, как и в сельскохозяйственных катенах, происходит незначительный вынос тяжелых металлов из верхних горизонтов почв трансэлювиальных ландшафтов и аккумуляция их в подчиненных (супераквальных) фациях. По, мнению А.И. Щетникова (1989), объяснение следует искать не столько в химических свойствах элементов, сколько в специфике геохимических и геоморфологических условий трансэлювиальных фаций.

Латеральную миграцию (внутрипочвенную) и концентрацию химических элементов целесообразно изучать в монолитных катенах. Территория Лучановского стационара относится к таковой, и здесь правомерно применение коэффициента местной латеральной миграции для химических элементов (табл. 2).

Анализ полученных данных показывает, что латеральная дифференциация распространения химических элементов в почвах Лучановского стационара не очень велика. Под влиянием распашки в почвах склона (2) отмечается по-

ниженное содержание Cu, V, Ni, по сравнению с условно ненарушенными ландшафтами плакорной поверхности (1). В суффозионных западинах (3) плакоров длительное весеннее избыточное увлажнение ведет к развитию глеевого процесса, сопровождающегося деструкцией органического вещества, взаимодействием низкомолекулярных органических соединений с микроэлементами минеральной части с последующей дифференциацией их в почвенном профиле (Евсеева Н.С., Пашнева Г.Е., Язиков Е.Г, 1997).

Таблица 2 – Коэффициенты латеральной миграции почв Лучановского стационара

Элементы	Сельскохозяйственная катена			Лесная катена			
	1	2	3	4	1	2	3
Cu	1,0	0,8	1,1	0,9	1,0	1,0	0,6
Pb	1,0	1,8	<b>2,0</b>	<b>1,9</b>	1,0	0,7	<b>0,1</b>
Zn	1,0	1,4	<b>2,0</b>	<b>1,4</b>	1,0	1,0	<b>0,2</b>
V	1,0	0,6	0,7	0,9	1,0	0,9	0,5
Ni	1,0	0,6	0,8	1,0	1,0	1,1	<b>0,1</b>
Cr	1,0	1,1	1,2	1,2	1,0	0,9	<b>0,1</b>
Ba	1,0	1,0	1,2	1,1	1,0	0,8	0,6

Точки отбора почвенных проб элементарных геохимических ландшафтов:  
 1 – элювиального, 2 – трансэлювиального, 3 – аккумулятивно-элювиального, 4 – супераквального.

Так, в почвах суффозионной депрессии наблюдается повышенная концентрация Cu, V, Cr, Ba, Zn, Pb, содержание свинца и цинка увеличивается в 2 раза (до 36 – 84 мг/кг) по сравнению с 18 – 42 мг/кг в почвах плакоров. В нижней части распаханного склона (4) содержание ряда элементов (Pb, Zn, Cr, Ba) увеличивается в связи с намывом почв (сорбционный геохимический барьер).

В верхних горизонтах почв лесных элементарных ландшафтов также наблюдалось увеличение содержания химических элементов вниз по катене (табл. 2). При анализе коэффициента латеральной миграции всего почвенного профиля выяснилось что, от элювиальных к супераквальным элементарным ландшафтам происходит снижение количества всех определяемых микроэлементов. В самом нижнем звене катены – в супераквальном ландшафте днища долины ручья (3) уменьшается содержание в почве Pb, Ni, Zn, Cr примерно в 10 раз, вероятно в результате развития процессов кислого глеевого выщелачивания.

Для выявления степени контрастности латеральной дифференциации автором были распределены коэффициенты местной миграции химических элементов в почвах исследуемого участка по следующим рядам: контрастные, слабоконтрастные и неконтрастные (табл. 3).

Таблица 3 – Контрастность местной (латеральной) дифференциации химических элементов в почвах исследуемой территории

Степень контрастности	Коэфф. местной миграции	Почвы исследуемой территории	Элементы
Контрастные	< 0,5 и > 1,8	Суффозионной депрессии и нижней части склона сельскохозяйственной катены; Днища лога лесной катены	Pb, Zn Pb, Cu, V, Ni, Cr
Слабоконтрастные	0,5 – 0,8 1,2 – 1,8	Эродированных склонов пашни; Днища лога лесной катены; Склона лесной катены	Cu, Zn, V, Ni, Cr Zn Cr, V, Ba
Неконтрастные	0,8 – 1,1	Склонов, депрессий пашни; Склонов лесной катены	Ba Zn, Cu, V, Ni, Cr

Наши исследования за процессами латеральной (поверхностной и внутрипочвенной) водной миграции на ключевых участках Томь-Яйского междуречья позволяют сделать следующие выводы:

1. Сочетание выноса и аккумуляции при латеральной миграции усложняет радиальную дифференциацию химических элементов в элементарных геохимических ландшафтах Томь-Яйского междуречья. Контрастность латеральной миграции ниже радиальной дифференциации, однако, видна четкая тенденция к накоплению элементов при переходе от автономных (элювиальных) ландшафтов к подчиненным (супераквальным).

2. Латеральная миграция химических элементов в почвах Томь - Яйского междуречья заметно увеличивается вследствие распашки земель и ускоренной водной эрозии. Для исследуемой территории наблюдается преобладание механической миграции вещества между автономными и подчиненными элементарными геохимическими ландшафтами.

3. В агроландшафтах происходит обеднение почв илистой фракции, возрастает кислотность почвенного раствора, снижается содержание поглощенных оснований, являющихся элементами питания сельскохозяйственных культур. Для сильно эродированных почв в зоне транзита характерно отсутствие полного генетического профиля, наблюдается изменение механического состава и вынос микроэлементов: Cu, V, Ni

4. В зоне аккумуляции наблюдается формирование намывных почв с утяжелением механического состава. Заполнение депрессий разного генезиса продуктами смыва и размыва почв с пахотных угодий ведет к нивелировке рельефа и последующему изменению в них геохимических процессов, происходит аккумуляция следующих тяжелых металлов – Cu, V, Cr, Ba, Zn, Pb. При этом большая часть делювиальных отложений (до 80 %) остается на водосборе балок, малых рек.

5. Геохимические методы позволяют конкретно проследить миграционные потоки веществ в техногенных и биогенных ландшафтах, а их графическое

отображение создает новые модели, позволяющие глубже проникнуть в происходящие процессы.

6. Результаты ландшафтно-геохимических исследований, полученные на Лучановском стационаре являются репрезентативными сельскохозяйственных (пашенных) территорий западной части Томь-Яйского междуречья.

**3. Природные процессы, активизированные к жизни хозяйственной деятельностью человека, усиливают миграцию химических элементов в техногенных ландшафтах Томь-Яйского междуречья. Большое значение принадлежит ветровой эрозии, играющей двоякую роль в миграции веществ сельскохозяйственных ландшафтов Томь-Яйского междуречья.**

Изучение природных процессов, оказывающих влияние на миграцию веществ, проводилось автором на балансово-геохимической основе. В качестве приходной части учитывалось поступление вещества в ландшафт с атмосферными выпадениями. Среди элементов приходно-расходной части рассматривался перенос вещества с водными и воздушными потоками.

Под влиянием атмосферных осадков протекает ряд природных процессов, в том числе оказывающих влияние на миграцию вещества. По значимости исследований атмосферных осадков дождь и снег неравнозначны. Ю.Г. Покатилов (1993) утверждает, что анализ полученных данных по летним осадкам не дает полного и правильного ответа на поставленные вопросы (о химическом составе, минерализации), из-за разового отбора проб, тогда как изучение снежного покрова дает весьма полную и объективную картину, касается ли это естественных или техногенных ландшафтов.

Химический состав снегового покрова формируется под влиянием многих факторов: как природных, так и антропогенных. Снег является сезонным концентратом веществ, и до начала снеготаяния они как бы законсервированы в снежной толще. Все же вещества мигрируют по профилю и пополняются из других источников, в частности из почвы. Кроме того, миграция химических элементов субстрата осуществляется также снизу – вверх, из почвы в снеговой покров (Анисимова Н.П., Голованова Т.В., 1980; Казанцев В.А., 1998; Федосеева В.И., 2000). При анализе снеговой воды элементарных геохимических ландшафтов Лучановского стационара автором сделаны следующие выводы:

1. Концентрация химических элементов в твердом остатке талой снеговой воды индивидуальна для каждого элементарного геохимического ландшафта. Особенно отчетливо это проявляется при изучении содержания микроэлементов в биогенных лесных и техногенных сельскохозяйственных ландшафтах. Для выявления этих различий нами проведено изучение количественных и качественных особенностей твердых атмосферных выпадений. Участки отбора снеговых проб в кедровом лесу и на пашне Лучановского стационара находятся в 700 м друг от друга, поэтому количество твердых выпадений с атмосферными осадками одинаковое.

При анализе полученных данных отмечаем, что в кедровом лесу (в 30 м от опушки) содержание твердого остатка в снеге меньше такового на пашне на  $0,07 - 0,49 \text{ г/дм}^3$ , в снеговой воде на  $0,3 - 1,4 \text{ г/дм}^3$  (табл. 4).

Количественное содержание твердого остатка снега и снеговой воды элементарных геохимических ландшафтов сельскохозяйственной катены также различно и определяется следующими факторами: рельефом, характером растительности, скоростью и направлением ветра.

Таблица 4 – Содержание твердого остатка в снеге и талой снеговой воде в элементарных ландшафтах Лучановского стационара (Квасникова З.Н., Евсеева Н.С., Осинцева Н.В, 2003)

Участок	Плотность снега, $\text{г/см}^3$	Кол-во твердого остатка в снеговой воде, $\text{г/дм}^3$	Кол-во твердого остатка в снеге, $\text{г/дм}^3$
Кедровый лес	0,26	0,079	0,024
Суффозионная депрессия	0,33	<b>1,501</b>	<b>0,523</b>
Микроводораздел на пашне	0,27	0,379	0,101
Склон пашни	0,39	0,423	0,122

Содержание твердого остатка в снеге и в талой снеговой воде склонов и микроводоразделов пашни близки. При этом отмечаем резкое увеличение количества твердого остатка в снеге на участке перед суффозионной западиной, являющейся местным механическим геохимическим барьером. Здесь и у лесополосы происходит ослабление ветровых струй, переносящих частицы почвы с обнаженных участков куполов пашни. Таким образом, твердый остаток в снеге сельскохозяйственных ландшафтов большей частью имеет местное происхождение, т.е. не упал «с неба», а представлен близлежащим субстратом.

Преобладающие в твердом остатке снеговой воды Лучановского стационара тяжелые металлы условно можно разделить на три группы: С – халькофильные (Pb, Cu, Zn), F – сидерофильные (Ni, Cr, V) и L – литофильные (Ba). В твердом остатке талой снеговой воды исследуемой территории количественно преобладают микроэлементы халькофильной группы: Cu, Zn, Pb. Предполагается, что при отсутствии вблизи промышленности происходит формирование регионального фона по этим показателям под влиянием более масштабных факторов, а именно, под воздействием промышленных предприятий, расположенных за южными границами Томской области (Экология Северного промышленного узла, 1994).

Сидерофильные элементы менее подвижны в аэрогенных потоках, поэтому источник их поступления в атмосферу «местный», и их содержание отражает содержание почв исследуемого района (рис. 5).



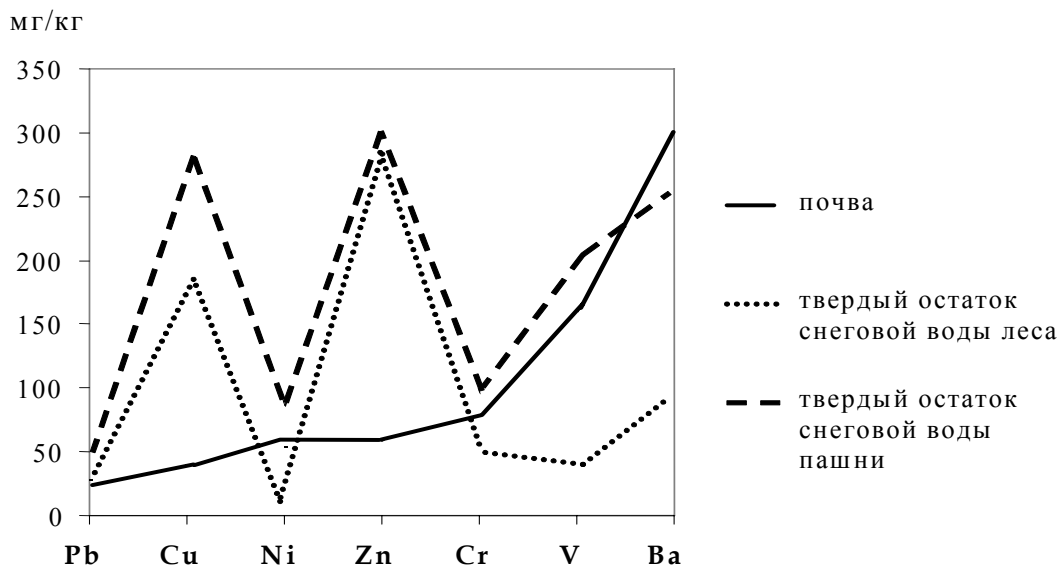


Рисунок 5 – Распределение микроэлементов в почве и твердом остатке снеговой воды: леса, пашни Лучановского стационара (2001 – 2002 гг.)

Внутри геохимических катен Лучановского стационара содержание микроэлементов в элементарных ландшафтах биогенного лесного и техногенного сельскохозяйственного имеет некоторое различие. Коэффициенты концентраций ( $K_k$ ) микроэлементов в твердом остатке снеговой воды пашни были рассчитаны относительно их содержания в твердом остатке снеговой воды кедрового леса.

Наибольших значений  $K_k$  составляет у ванадия и никеля: от 4,5 до 11,5 (рис. 6).

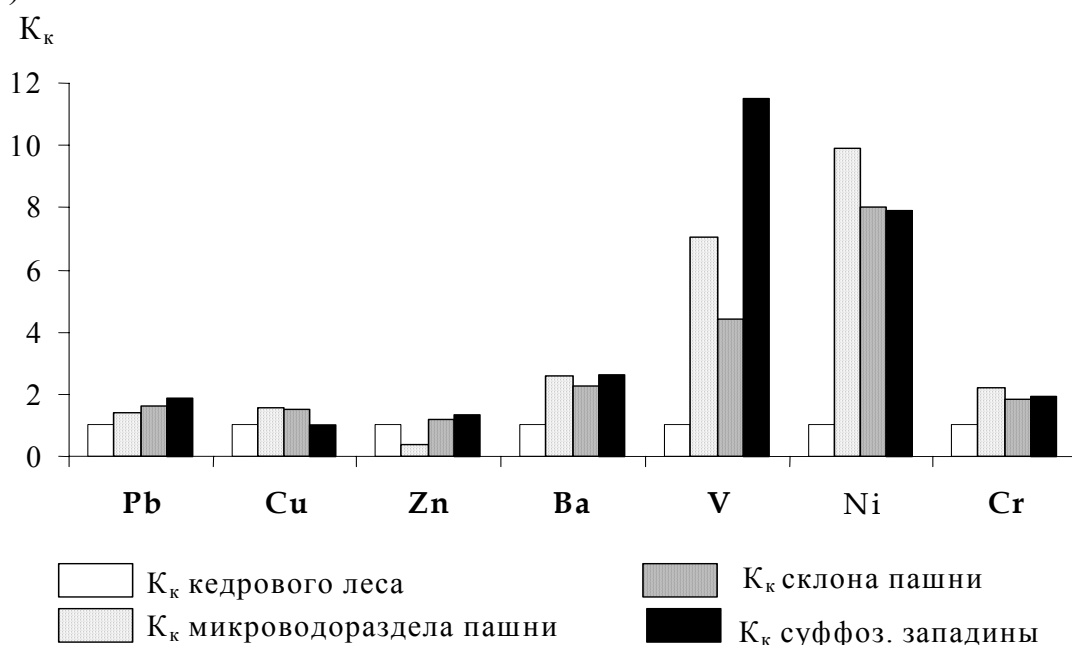


Рисунок 6 – Коэффициенты концентраций ( $K_k$ ) микроэлементов в твердом остатке талой снеговой воды элементарных геохимических ландшафтов Лучановского стационара (2001 – 2002 гг.)

Содержание хрома, свинца и бария не так контрастно ( $K_k$  от 1,5 до 2,8). Наиболее близки в твердом остатке снеговых вод лесных и сельскохозяйственных ландшафтов концентрации меди и цинка, что еще раз подтверждает их привнос вместе с воздушными массами регионального масштаба (Квасникова З.Н., 2003). При характеристике количества и состава твердого остатка в талой снеговой воде техногенных сельскохозяйственных ландшафтов нельзя недооценивать влияние такого фактора, как почвенная пыль местного происхождения, снесенная и переотложенная на поверхность снега.

Дефляция на пашне юга Томской области развивается ежегодно. Наиболее интенсивно этот процесс развивается в апреле - мае, когда почва полностью освобождается от снега и не покрыта растительностью. Нами наблюдались процессы ветровой эрозии и в другие месяцы холодного периода года – с октября по апрель.

Дефляция почв существенно снижает плодородие почв в очагах эрозии и влияет на ландшафтно-геохимическую обстановку стационара. Из очагов эрозии выносятся важнейшие для сельскохозяйственных растений химические элементы. Так, по нашим данным, в эоловых отложениях, накопившихся на поверхности снега за период с 14 марта по 1 апреля 2001 г. содержалось 2,02 % гумуса, 15,7 мг/экв/ 100 г кальция, 1,8 мг/экв/100 г магния, 0,12 % фосфора, 0,14 % азота.

Среднее содержание микроэлементов в почвах пашни (гумусовый горизонт) на возвышенных участках и в эоловых отложениях близки (рис. 7).

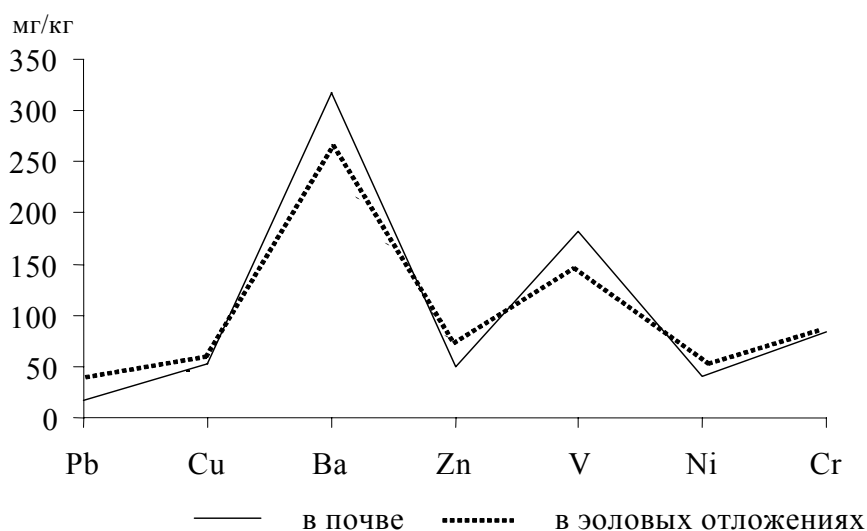


Рисунок 7 – Среднее содержание микроэлементов в почве и эоловых отложениях Лучановского стационара (2001)

Например, меди в верхнем гумусовом горизонте почвы содержится 50 мг/кг, в эоловых отложениях – 48 мг/кг, хрома – 84 мг/кг и 88 мг/кг соответственно. Соотношение других микроэлементов иное. Цинк, никель, свинец накапливаются в большем количестве в эоловых отложениях, но величина превышения незначительна – от 5 до 15 мг/кг. Бария и ванадия содержится больше в почве, причем превышение составляет от 40 до 70 мг/кг.

Анализируя данные по содержанию микроэлементов, можно сделать вывод, что при ежегодной эоловой дефляции верхних горизонтов почв куполов пашни количество микроэлементов здесь практически не изменяется. По мнению, В.А. Алексеенко (2000), химические элементы с большой атомной массой (тяжелые металлы) трудно выдуваются, следовательно, накапливаются в относительно больших количествах в почвах. По нашим наблюдениям, в тяжелосуглинистые, маломощные (от 5 до 10 см) верхние горизонты почв куполов пашни ежегодно при вспашке поступает дополнительное количество микроэлементов из материнских почвоподстилающих горизонтов. Таким образом, количество выдутых ветровой дефляцией химических элементов восстанавливается.

При сравнении содержания химических элементов в почве куполов пашни и в эоловых отложениях также подтверждается происхождение загрязненных участков снежной поверхности локальным эоловым переносом почвенных частиц внутри агроландшафтов. Доля регионального атмосферного переноса в перераспределении химических элементов внутри стационара особого значения не имеет, определяя лишь фоновое содержание всего участка.

Процессы водной эрозии на территории Томь-Яйского междуречья хорошо изучены многими исследователями. В данной работе рассмотрено влияние водной эрозии на миграцию химических элементов.

Для сильно эродированных почв пашни в зоне транзита характерно отсутствие полного генетического почвенного профиля, т.е. в результате водной эрозии теряется самый плодородный гумусовый горизонт почв, из него вымываются ценные химические элементы. Анализ твердого остатка в пробах воды струйчатых размывов и делювия из конуса выноса показал, что:

- в твердом остатке вод струйчатых размывов преобладают первичные минералы фракции мелкого песка, здесь повышено содержание натрия (таблица 5);

- в конусах выноса происходит накопление вторичных минералов (фракция ила) с кальцием. Содержание СаО в среднем в почвах Томского Приобья составляет менее 2 %, а в конусах выноса оно достигает 3 %.

Таблица 5 – Состав осадка воды струйчатого размыва и делювия конуса выноса на пашне Лучановского стационара, мг/кг (2001 – 2002 гг.)

Проба	Содержание химических элементов, %				
	Na	P	Ca	Cr	N
Осадок из воды струйчатого размыва	2,3	0,20	1,9	2,2	0,35
Делювий из конуса выноса	1,6	0,18 – 0,43	3,0	2,43	0,21 – 0,63

Кроме химических элементов, являющихся элементами питания сельскохозяйственных культур вместе с талыми снеговыми водами мигрируют и

микроэлементы (тяжелые металлы). Так, в делювиальных отложениях Лучановского стационара отмечается повышенное содержание микроэлементов по сравнению с верхними горизонтами почв пашни (рис. 8).

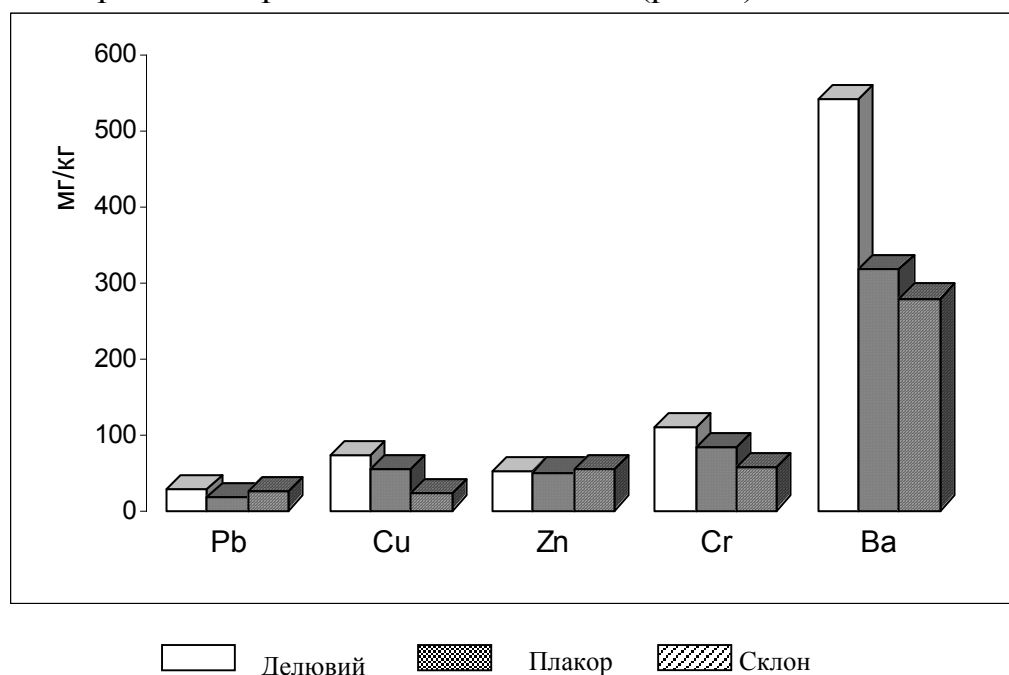


Рисунок 8 – Содержание микроэлементов в делювиальных отложениях, почвах пашни Лучановского стационара (2001 – 2002 гг.)

Концентрация Cr увеличивается в 1,5 – 2 раза (до 110 мг/кг) по сравнению с 56 – 84 мг/кг в верхних горизонтах почв, Cu в 1,2 – 3 раза (до 73 мг/кг), Ni в 1,2 – 2,5 раза (до 58 мг/кг). Ежегодно формирующиеся делювиальные отложения на пашнях Томь-Яйского междуречья, в основном, увеличивают мощность намывных почв нижних частей склонов (до 100 см).

Кроме этого, делювиальные отложения размываются жидкими атмосферными осадками. Поэтому, в почвы пониженных элементов рельефа – логов, балок, долин малых рек, поступает дополнительное количество химических элементов, тем самым увеличивается опасность загрязнения тяжелыми металлами местных водоемов.

Исследования за процессами воздушной и водной миграций на стационаре позволяют сделать следующие выводы:

1. Концентрация химических элементов в твердом остатке талой снеговой воды индивидуальна для каждого элементарного геохимического ландшафта Лучановского стационара. Особенно отчетливо это проявляется при изучении содержания микроэлементов в биогенных лесных и техногенных сельскохозяйственных ландшафтах. Количественное содержание твердого остатка снега и снеговой воды элементарных геохимических ландшафтов сельскохозяйственной катены также различно и определяется следующими факторами: рельефом, характером растительности, скоростью и направлением ветра.

2. Эоловые процессы – ветровая эрозия почв на пашне юга Томской области развивается ежегодно, имеет прерывистое развитие и очаговый характер. По объему снесенного материала с пашни (до 2 – 6 т/га) только за холодный период года (октябрь – апрель) позволяет отнести юг Томской области, согласно Рекомендациям по защите почв... (1980) к районам со слабой (до 3 м<sup>3</sup> / га) и средней (3 – 8 м<sup>3</sup> / га в год) степенью развития дефляции. Наиболее интенсивно этот процесс развивается в апреле – мае, когда почва полностью освобождается от снега и не защищена или слабо защищена растительностью;

3. При дефляции почв с возвышенностей – «куполов» пашни и ровных участков происходит вынос гумуса, фосфора, азота, кальция, магния и других химических элементов. Роль эолового процесса в миграции химических элементов двояка:

– Во-первых, он ведет к выносу химических элементов из почвы и переотложению их на различные расстояния от очага эрозии на снег;

– Во-вторых, во время весеннего снеготаяния часть эоловых отложений на поверхности и внутри снежной толщи уносится талыми снеговыми водами вниз по склонам пашни, тем самым, перераспределяя содержание химических элементов на территории Лучановского стационара.

4. В делювиальных отложениях стационара отмечается повышенное содержание микроэлементов по сравнению с верхними горизонтами почв пашни. Ежегодно формирующиеся делювиальные отложения на пашнях увеличивают мощность намывных почв нижних частей склонов. Также они размываются жидкими атмосферными осадками. Поэтому, в почвы пониженных элементов рельефа – логов, балок, долин малых рек, поступает дополнительное количество химических элементов, тем самым увеличивается опасность загрязнения тяжелыми металлами местных водоемов.

## **СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

1. Особенности распределения меди в подзолистых почвах Томского района // Тезисы докл. региональной научно-практич. конф., посвященной пятидесятилетию Томской области. Естественные науки. Томск, 1994. -С. 43 – 44 (соавторы Квасников А.В., Пятайкина О.А.).
2. О распределении меди в геохимическом ландшафте на примере подзоны южной тайги //Актуальные проблемы геологии и географии Сибири. Т.4. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1998.- С.40 – 42 (соавтор – Квасников А.В.).
3. О динамике микроэлементов при формировании ландшафтов // География в Томском университете: итоги, проблемы, перспективы. – Томск, 1999. - С. 63 – 64.
4. Классификация геохимических ландшафтов Томь-Яйского междуречья // Географические проблемы Западной Сибири. Материалы Региональной научной молодежной конференции (21 - 23 декабря 2000 г., Томск) – Томск, 2000. - С.102.
5. Медь в геохимическом ландшафте подзоны южной тайги // Вопросы географии Сибири. Вып. 23. Томск, 2000 - С. 188 – 192.
6. Факторы миграции химических элементов в ландшафтах подтайги (на примере Томь-Яйского междуречья) // Вопросы географии Сибири. Вып. 24. Томск, 2001. - С. 211 – 218 (соавтор – Осинцева Н.В.).

7. Загрязнение малых водосборов рек в агроландшафтах Томь-Яйского междуречья // Вопросы географии Сибири. Вып. 24. - Томск, 2001 . - С. 347 – 356 (соавторы Евсеева Н.С., Пашнева Г.Е., Петров А.И.).
8. Сравнительный анализ углов наклона земной поверхности по крупномасштабным картам Экологический риск / Материалы 2 Всероссийской конференции (Иркутск, 18 - 20 сентября 2001 г).- Иркутск: Изд-во Ин-т географии СОРАН, 2001. - С. 141 - 142 (соавторы Евсеева Н.С., Осинцева Н.В.).
9. Полевые исследования дефляции почв Томь-Яйского междуречья в холодный период года. Экологический риск / Материалы 2 Всероссийской конференции (Иркутск, 18 - 20 сентября 2001 г). - Иркутск: Изд-во Ин-т географии СОРАН, 2001. - С. 256 - 258 (соавторы Евсеева Н.С., Осинцева Н.В., Ромашова Т.В.).
10. Ландшафтно-геохимическая структура Томь-Яйского междуречья. Роль географии в решении проблем устойчивого развития / Материалы Региональной школы-семинара (24 - 25 апреля 2002 г., Томск) – Томск: ТГУ, 2002.- С.20 – 22.
11. О роли атмосферных выпадений в геохимических процессах ландшафтов Томь-Яйского междуречья // Вестник Томского государственного университета, Серия «Науки о Земле», Материалы научной конференции «Проблемы геологии и географии Сибири».- Томск, 2003. - С. 55 – 57 (соавторы Евсеева Н.С., Осинцева Н.В.).
12. Морфологическая структура ландшафтов долины реки Басандайки. /Проблемы гляциогидроклиматологии Сибири и сопредельных территорий. Материалы научно-практической конференции, посвященной 110 - летию со дня рождения М.В. Тронова. Томск, 2002. - С. 56 – 57 (соавторы Белослудцева Т.В., Каширо М.А., Филкина О.А.).
13. Оценка эоловых процессов в таежной зоне юго-востока Западно-Сибирской равнины (на примере Томь-Яйского междуречья). Самоорганизация и динамика геоморфосистем / Материалы 26 Пленума Геоморфологической комиссии РАН (Томск, 25 августа - 2 сентября 2003 г.) – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СОРАН, 2003.- С. 300 – 3002 (соавторы Евсеева Н.С., Осинцева Н.В.).
14. Миграция вещества при развитии эоловых процессов в таежной зоне юго-востока Западно-Сибирской равнины. Современные методы эколого-геохимической оценки состояния и изменений окружающей среды / Материалы Международной Школы 15 – 20 сентября, 2003 г. – Новороссийск, 2003.- С. 109 – 110 (соавторы Евсеева Н.С., Осинцева Н.В.).