



На правах рукописи

ЧУДНЯВЦЕВА

Ирина Игоревна

**ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СУХОСТЕПНЫХ
ЛАНДШАФТОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДОБЫЧИ И
ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОВЫХ РУД
(НА ПРИМЕРЕ СТРЕЛЬЦОВСКОГО
МОЛИБДЕН-УРАНОВОГО РУДНОГО ПОЛЯ)**

25.00.36 – Геоэкология

26 НОЯ 2009

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2009

Работа выполнена в Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор,
член-корреспондент РАН Величкин Василий Иванович
(ИГЕМ РАН)

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук
Пэк Александр Арнольдович (ИГЕМ РАН)

доктор географических наук

Евсеев Александр Васильевич (МГУ им. М.В. Ломоносова)

Ведущая организация:

Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М.Федоровского (ФГУП ВИМС)

Защита состоится 9 декабря 2009 года в 14⁰⁰ час. на заседании диссертационного совета Д 002.122.01 при Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (109017, Москва, Старомонетный пер., 35).

Отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять в адрес ученого секретаря диссертационного совета.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН по адресу: Москва, Старомонетный пер., 35.

Автореферат диссертации разослан «9» ноября 2009 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Юдовская М.А.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. В настоящее время добыча урановых руд горным способом в промышленных масштабах ведется в России на Стрельцовском молибден-урановом рудном поле в Юго-Восточном Забайкалье. Рудное поле относится к категории уникальных – общие запасы урана, сосредоточенные в девятнадцати пространственно сближенных месторождениях, оцениваются более чем в 250 тыс. тонн. Добыча и переработка руд осуществляется предприятиями Приаргунского производственного горно-химического объединения (ППГХО). Половина запасов руд уже отработана, для поддержания добычи урана на современном уровне, и, тем более, для ее планируемого наращивания, в эксплуатацию будут вовлечены резервные месторождения. Это потребует расширения перерабатывающего производства, частичного изменения технологии добычи и переработки руд и, как следствие, приведет к увеличению массы отходов и к усложнению их состава.

Эксплуатация месторождений Стрельцовского рудного поля (СРП) сопровождается существенной трансформацией природных ландшафтов прилегающих территорий, что подтверждено данными аэрогаммаспектрометрической съемки 1965 и 1990 годов. Содержание эквивалентного урана в почвах рудного поля за 24 года добычи и переработки руд увеличилось с 2-8 до 12-48 г/т. Зафиксированные в 1965 году аномалии отражали преимущественно вторичные ореолы рассеяния коренного оруденения, тогда как к 1990 году наиболее контрастные из них имели техногенное происхождение.

Экологическую ситуацию на территории осложняет наличие источников загрязнения, связанных не только с основным производством, но и с сопутствующей деятельностью. Поэтому загрязнение происходит как радиоактивными, так и стабильными элементами, что приводит к увеличению контрастности, масштабов и экологической опасности формирующихся полиэлементных аномалий. В сфере воздействия техногенных источников оказались г. Краснокаменск, пос. Октябрьский и пос. Краснокаменский, в которых проживает более 60 тысяч человек. В этой связи проведение работ по оценке существующей экологической ситуации, выявлению экологически опасных тенденций в

деятельности горнодобывающего и рудоперерабатывающего производств, разработке прогнозных сценариев функционирования экосистем, а также мер по реабилитации загрязненных территорий, чрезвычайно актуально.

Актуальность работы подтверждается ее выполнением в рамках ФЦП «Ядерная и радиационная безопасность России на 2000-2006 гг.» и «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года».

Цель и задачи исследования. Целью работы является оценка геохимической трансформации степных ландшафтов Юго-Восточного Забайкалья под влиянием горно-промышленного комплекса по добыче и переработке урановых руд. В соответствии с поставленной целью решались следующие **задачи**.

1. Адаптация методики ландшафтно-геохимических исследований (ЛГИ) к оценке воздействия предприятий по добыче и переработке урановых руд на природные ландшафты Юго-Восточного Забайкалья.

2. Установление природного геохимического фона радиоактивных и стабильных элементов и факторов, определяющих дифференциацию геохимического поля.

3. Выявление геохимической структуры ландшафтов и оценка геохимических условий миграции вещества в степных ландшафтах Юго-Восточного Забайкалья.

4. Выявление потоков загрязнителей от основных источников техногенного воздействия.

5. Выявление основных преобразований в геохимической структуре ландшафтов под воздействием горно-промышленного комплекса.

6. Определение критериев разделения техногенных геохимических аномалий от природных.

7. Обоснование системы ландшафтно-геохимического мониторинга зоны техногенного воздействия (ЗТВ) уранодобывающего и перерабатывающего комплекса.

Методологический подход. Методологической основой оценки экологического состояния экосистем является теория геохимии ландшафтов - науки, раскрывающей закономерности миграции химических элементов в природных и природно-техногенных ландшафтах.

Фактический материал. Настоящая работа основана на материалах многолетних ландшафтно-геохимических исследований автора и других специалистов ИГЕМ РАН, проводившихся в 1998-2008 годах в Юго-Восточном Забайкалье.

Основу работы составляют собственные материалы. Обработано 1083 пробы почв и техногенных субстратов, 20 проб поверхностных и грунтовых вод. В пробах почв определялись: содержание гумуса (410 определений), механический состав (29), рН (442), легкорастворимые соли (417), емкость поглощения (25), валовое содержание микро и макроэлементов (1083), подвижные формы урана (143), макрокомпонентный состав водных вытяжек (14); во всех пробах вод: рН, макро- и макрокомпонентный состав.

Результаты лабораторных исследований обобщены в виде таблиц, графиков, геохимических коэффициентов (кларков концентрации и рассеяния, коэффициентов аномальности, коэффициентов латеральной и радиальной миграции), геохимических спектров.

Научная новизна.

Определены основные принципы и методы ландшафтно-геохимических исследований для районов деятельности предприятий по добыче и переработке урановых руд.

Проведена типизация геохимических аномалий, формирующихся в природных и техногенно трансформированных ландшафтах Приаргуныя.

Предложены и апробированы на конкретном объекте критерии отличия аномалий с близким элементным составом природного и техногенного происхождения.

Составлена ландшафтно-геохимическая карта территории зоны влияния горно-промышленного комплекса, отражающая геохимические условия миграции и концентрации вещества в основных выделенных элементарных и геохимических ландшафтах.

Практическое значение работы заключается в следующем:

1) произведена оценка техногенного воздействия деятельности ППГХО на природные ландшафты, выявлены тренды изменений техногенных аномалий под действием ландшафтных факторов;

2) обоснована и разработана система ландшафтно-геохимического мониторинга (ЛГМ) ЗТВ предприятия по добыче и

переработке урановых руд, учитывающая ландшафтно-геохимические различия изученной территории;

3) проведенные исследования представляют фактическую реализацию первого этапа мониторинга - базового ЛГМ, результаты которого целесообразно использовать экологическими службами предприятия при осуществлении текущего контроля за состоянием окружающей среды в ЗТВ горно-промышленного комплекса и за ее пределами.

Результаты исследования использовались в 2009 году при выполнении проекта «Создание и поддержка системы объектного мониторинга состояния недр на предприятиях ГК «Росатом».

В работе обоснованы четыре основные **защищаемые положения**:

1) Аргунские и урулунгуйские геохимические ландшафты, выделенные на территории Стрельцовского рудного поля и его окрестностей, резко отличаются по условиям миграции вещества, что выражается в различии природных содержаний элементов и факторов, определяющих пространственную вариацию геохимического поля. Исходя из этого оценка геохимической трансформации ландшафтов, осуществляется на основе установленного дифференцированного ландшафтно-геохимического фона.

2) Геохимическое различие природных ландшафтных и рудогенных аномалий выражается в их пространственной локализации, составе ассоциаций концентрирующихся элементов, их вертикальном и латеральном распределении в ландшафтах. Разделение и типизация этих аномалий повышает надежность выявления загрязнения ландшафтов в случаях наложения техногенных аномалий на природные.

3) Техногенные аномалии как индикаторы геохимической трансформации ландшафтов Стрельцовского рудного поля и его окрестностей обычно отражают комплексное воздействие нескольких источников загрязнения и нередко накладываются на природные аномальные геохимические поля. Критериями разделения техногенных и природных аномалий являются: уровни содержания валовых и подвижных форм элементов, характер их латерального и вертикального распределения в ландшафтах; состав ассоциаций накапливающихся элементов.

4) Разработана система экологического ландшафтно-геохимического мониторинга зоны техногенного воздействия горнопромышленного комплекса, состоящая из этапа базовой ландшафтно-геохимической инвентаризации (базовый мониторинг) и текущего мониторинга. Пространственное размещение точек наблюдения определяется структурой природных и техногенных ландшафтно-геохимических полей и различно для аргунских и урулюнгуйских геохимических ландшафтов.

Личный вклад. Автор принимал участие в организации и проведении полевых работ (два года - в качестве начальника полевого отряда) и лабораторных исследований. Собран и обобщен весь фактический материал, проведена химико-аналитическая обработка значительной его части, теоретически обобщены данные ландшафтно-геохимического анализа (охарактеризована миграция различных групп элементов в ландшафтах СРП; типизированы природные и техногенные аномалии на основе их значимых признаков, определены критерии их отличия и достоверной идентификации); создана серия цифровых карт на территорию исследований.

Апробация работы. Результаты диссертации представлены и доложены на международных и российских конференциях, симпозиумах, научных школах: Всероссийской конференции «Геохимия биосферы» в г. Москве в 2006 г.; пятой Российской конференции Радиохимия-2006 в г. Дубне; второй Российской школе по радиохимии и ядерным технологиям в г. Озерске в 2006 г., международной конференции «Uranium Deposits – Natural Analogs - Environment» в Нанси в 2003 г.; международной конференции «Современные методы эколого-геохимической оценки состояния и изменений окружающей среды» в г. Новороссийске в 2003 г.; конференции «Экологическая геология и рациональное недропользование» в г. Санкт-Петербурге в 2003 г.; Всероссийском совещании «Проблемы радиозэкологии при освоении минерального сырья и техногенных источников» в ГУП «ВНИИХТ» в г. Москве в 2001 г., Всероссийской конференции «Научные аспекты экологических проблем России» в г. Москве в 2001 г.; международном симпозиуме по геологии урана «Уран на рубеже веков: природные ресурсы, производство, потребление» в г. Москве в 2000 г. и др.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы, включающего 167 наименований, приложений, списков терминов, определений и сокращений. Объем работы 204 страницы, включая 37 рисунков (в том числе 4 карты), 39 таблиц.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 24 работы, в том числе: статьи в журналах из перечня ВАК (1), статьи в зарубежных научных изданиях (2), коллективные монографии (2), материалы конференций (8, в том числе зарубежных - 1), тезисы докладов (11). Результаты работы использованы в 32 отчетах ИГЕМ РАН по темам НИР.

Автор выражает благодарность научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, члену-корреспонденту РАН В.И. Величкину за помощь в постановке задач, проведении исследований и обсуждении их результатов.

Автор глубоко признателен д.г.н Н.П. Солнцевой, академику Н.С. Касимову, к.г.н. Б.А. Ильичеву, к.г.-м.н. А.П. Алешину, к.г.-м.н. А.Е. Самонову д.г.-м.н. Б.Т. Кочкину за критические замечания и ценные советы, коллективу службы СРН ППГХО и персонально Т.Г. Кириченко за предоставленные данные режимных наблюдений территории ППГХО.

Автор также благодарит к.г.-м.н. Е.Н. Борисенко за неизменную поддержку, постоянное внимание, ценные советы и замечания к работе.

Дружескую признательность автор выражает к.б.н. К.Б. Гонгальскому, Р.Б. Ильичеву, В.Ю. Слободяну, И.Е. Макуриной, в разное время принимавшим участие в ландшафтно-геохимических исследованиях на территории рудного поля.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННО ИЗМЕНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В главе обобщены и типизированы современные представления о ландшафтах, как объектах экологической оценки техногенно измененных территорий.

Исходя из имеющихся представлений и в соответствии с тематикой работы, объектами ландшафтно-геохимических исследований Стрельцовского рудного поля и его ближайших окрестностей определены природные ландшафтно-геохимические системы (ЛГС) и их техногенные модификации (горно-промышленные ландшафты). Особенностью первых является возможное наличие природных геохимических аномалий элементов, обусловленных вторичными ореолами рассеяния рудных компонентов в почвах, растительности, поверхностных и подземных водах (рудогенных), а также природных аномалий, связанных с миграцией и концентрацией в ландшафтах наиболее подвижных элементов (ландшафтных); для вторых характерно наложение техногенного загрязнения на исходный зональный или природный аномальный геохимический фон. Рассматриваются элементарные ЛГС и каскадные ЛГС (геохимические ландшафты) и их техногенные модификации.

В главе приведен литературный обзор ландшафтно-геохимических исследований техногенно измененных территорий, представленных в работах А.И. Перельмана (1990, 1995, 1996), М.А. Глазовской (1979, 1981, 1984, 1988), Н.П. Солнцевой (1981, 1982, 1988, 1995, 1998), Н.С. Касимова (1999), И.А. Авессаломовой (1984, 2002), А.В. Дончевой (1978), В.С. Аржановой и П.В.Елпатьевского (1990), А.Е. Воробьева (1995), В.А. Алексеенко (1990), В.В. Дьяченко (2004), Ю.И. Пиковского (1993), Б.А. Ильичева (1998), Е.Н. Борисенко (2000, 2002), Е.В. Квасниковой (2002, 2005), В.Г. Линника (1991), Е. М. Никифоровой (1991) и др.

Обосновано использование методов геохимии ландшафтов для оценки влияния предприятия по добыче и переработки урановых руд на природную среду. Традиционные подходы ЛГИ адаптированы к применению ЗТВ уранодобывающего и перерабатывающего комплекса: на территории рудного поля определены значимые объекты и система опробования; основные этапы полевых работ и их содержание; принципы геохимической интерпретации полученных данных, в том числе ландшафтно-геохимическое картографирование. Сформирован минимально достаточный набор карт (в том числе ландшафтно-геохимических), являющихся графическим представлением результатов отдельных этапов ЛГИ на территории СРП (таблица 1).

Таблица 1

**Этапы ландшафтно-геохимических исследований на территории СРП и
основные виды составленных карт**

Этап исследований	Название карты	Назначение карты
Подготовка к полевым исследованиям	Карта литолого-структурных комплексов пород Стрельцовского рудного поля	Обоснование выбора эталонных объектов (природных и техногенных) и системы опробования
	Макет ландшафтно-геохимической карты территории зоны влияния ППГХО	
Полевые рекогносцировочные исследования	Карта расположения источников техногенного воздействия	Положение в ландшафте и типизация действующих источников загрязнения
Основные полевые исследования	Ландшафтно-геохимическая карта территории зоны влияния ППГХО М 1:200 000	Типизация ландшафтов по условиям миграции вещества
Обработка материалов полевых исследований		
Обработка материалов полевых исследований	Природно-техногенные и техногенные ландшафты СРП	Типизация основных видов техногенного воздействия и природно-техногенных и техногенных ландшафтов СРП Геохимическая трансформация сухостепных ландшафтов под влиянием добычи и переработки урановых руд
Разработка системы ландшафтно-геохимического мониторинга (ЛГМ)	Сеть точек ландшафтно-геохимического мониторинга ЗТВ горнопромышленного комплекса	Отображение сети точек опробования при ЛГМ

Глава 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

В главе проанализирован комплекс ландшафтообразующих факторов (геологическое строение, гидрогеологические условия, рельеф, поверхностные воды, биоклиматические условия, почвенный покров), обусловивших формирование двух крупных ландшафтно-геохимических единиц степной зоны Юго-Восточного Забайкалья: ландшафтов горных массивов (аргунских ландшафтов), межгорных долин и котловин (урулюнгуйских ландшафтов).

Приведен обзор почвенно-геохимических исследований на данной территории. На основе собственных данных в соответствии с новой почвенной классификацией (Классификация и диагностика..., 2004) детально охарактеризован почвенный покров аргунских и урулунгуйских геохимических ландшафтов, являющийся ареной ландшафтной миграции вещества природного и техногенного происхождения.

Установлено, что наиболее типичными почвами на территории горных массивов являются черноземы дисперсно-карбонатные, а в пределах широких долин и котловин – черноземы криогенно-мицелярные. Последние занимают в межгорных долинах и котловинах автономное положение, в починенных позициях доминируют комплексы солончаков (типичных, темных, глеевых, торфяных) с перегнойно- и гумусово-гидрометаморфическими засоленными почвами.

Химические свойства почв на рассматриваемой территории приведены в таблице 2.

Таблица 2

Почва	№ пробы	Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	pH	Легко-растворимые соли, %
Чернозем дисперсно-карбонатный	99-252	AU	0-15	4,3	7,0	н.о.*
	99-251	AUBCA	15-30	3,4	7,0	н.о.
	99-250	BCA	30-45	2,2	8,1	н.о.
Чернозем криогенно-мицелярный	99-1	AU	0-3	4,6	7,2	0,02
	99-2	AU'	3-15(22)	3,4	7,6	0,03
	99-3	BCAAUg	15(22)-32	1,5	8,3	0,04
	99-4	BCAmc	32-42	1,1	8,7	0,03
	99-5	Cca	42-70	0,3	8,4	0,03
	99-6	Dca	>70	0,4	8,8	0,06
Солончак темный	99-298	S[AU]	0-15	2,4	10,4	0,9
	99-299	Cs.g1	15-30	1,2	10,1	0,4
	99-300	Cs.g2	30-60	1,1	10,1	0,3
	99-301	Cs.g3	60-70	1,1	10,1	0,5
Гумусово-гидрометаморфическая засоленная	01-33	Aus	0-23 (57)	8,5	7,4	0,38
	01-32	Gs	23(57)-68	2,4	7,8	0,55
Солончак шоровый	00-73	S	0-2	1,29	9,2	н.о.
	00-72	SS	2-6	0,74	9,3	0,8
	00-71	Cs	6-10	0,25	9,1	0,84

* н.о. - не определялись

Глава 3. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА¹ ФОНОВЫХ ЛАНДШАФТОВ ПРИАРГУНЬЯ

Материалы, приведенные в третьей главе, являются обоснованием первого и второго защищаемых положений.

Охарактеризован естественный геохимический фон аргунских и урулюнгуйских ландшафтов и выявлены основные закономерности пространственной неоднородности геохимического поля, установлены механизмы образования и размещения в ландшафтах природных геохимических аномалий.

Определены, изучены и типизированы основные ландшафтно-геохимические сопряжения (катены)² аргунских и урулюнгуйских ландшафтов, в которых охарактеризованы условия миграции вещества, в том числе выявлены геохимические барьеры; показан характер латерального и профильного распределения катионогенных и анионогенных элементов.

Аргунские ландшафты

В аргунских ландшафтах изучено 14 катен двух типов: открытые, с конечным звеном в днище пади, и закрытые, с конечным звеном в замкнутом межсочном понижении. Катены заложены на четырех почвообразующих комплексах пород: кислых изверженных (граниты), основных вулканических (базальты), вулканогенно-осадочных, охваченных рудогенезом (породы кальдеры), метаморфических (мраморизованные известняки). Их изучение показало следующее:

1) Установленные значения местного фона (табл.3) для большинства элементов хорошо согласуются с известными данными для почв степей и находятся в пределах величин, полученных в результате многоцелевого геохимического картирования Восточно-Забайкальского полигона.

¹ Геохимическая структура ландшафтов - соотношение в геохимическом ландшафте автономных и подчиненных элементарных ландшафтов с характерной совокупностью геохимических процессов и параметров, приводящих к формированию зон выноса и аккумуляции вещества в профиле почв и в геохимическом ландшафте.

² Катена – сочетание в пространстве простых ландшафтно-геохимических единиц (элементарных ландшафтов), связанных потоками вещества от верхних гипсометрических уровней рельефа к нижним. Состоит из автономных элементарных ландшафтов, характеризующихся поступлением вещества из горных пород и атмосферы, и подчиненных с характерным привносом вещества с боковым стоком.

Таблица 3

Фоновые содержания химических элементов (мг/кг) в почвах степных ландшафтов Приаргуныя

Элемент	Среднее для аргунских ландшафтов	Среднее для урулюн-гуйских ландшафтов	Глобальный фон (Иванов, 1996, 1997)	Среднее в почвах степей (Иванов, 1996, 1997)	Среднее для горных черноземов (Геохимическая... 1998)
U	2,5	3,9	2	1-4	н.д.*
Th	11,6	10,4	9	6-10	н.д.
Mo	1,1	1,4	1,2	1,2-2,4	2
Pb	19,8	20,1	10-40	13-18	30
As	11,0	10	8,7	4,5-8	н.д.
Zn	62,2	64,4	56	н.д.	70
Cu	20,1	21,5	23,9	19-25	30
Ni	27,7	27,6	20	10-40	20
Co	11,9	10,6	12,7	10-12	9
Fe ₂ O ₃ (%)	4,5	4,1	3,8	3,8	н.д.
MnO	963	831	850	670-885	900

* - нет данных

2) Для ландшафтов горных массивов максимальную дифференциацию геохимического поля определяет характер почвообразующих пород и степень проявленности в них рудообразующего процесса. Особенно ярко это проявлено в природно-аномальных ландшафтах на породах Стрельцовой кальдеры, где в почвах четко фиксируются аномалии тория, никеля, меди, цинка, урана, мышьяка и других элементов по сравнению с почвами на других почвообразующих породах.

3) В слабоконтрастных ландшафтно- и почвенно-геохимических условиях, в окислительных слабощелочных и щелочных обстановках активна миграция анионогенных элементов, с их выносом за пределы почвенного профиля и геохимического ландшафта в целом. Возможность концентрации существует только в элювиально-аккумулятивных элементарных ландшафтах. В парагенную ассоциацию аномалий входят уран и молибден с концентрациями 8,5 КК³ и 2,0 КК. Миграция катионогенных элементов в гипергенных миграционных потоках незначительна, в результате во всех элементарных ландшафтах на породах Стрельцовой кальдеры образуются рудогенные аномалии,

³ КК – кларк концентрации - отношение содержания элемента в компоненте ландшафта к его кларку

связанные с вторичными ореолами рассеяния рудных тел. В парагенезис аномалий входят основные рудообразующие элементы (уран – 1,5 КК, молибден – 1,8 КК) и спутники рудообразования (цинк – 2,3 КК, торий – 1,8 КК, свинец – 1,4 КК, мышьяк – 1,4 КК, и др.).

Урулюнгуйские ландшафты

Аккумуляция вещества, поступающего с горных массивов, происходит в урулюнгуйских ландшафтах. В них изучены катены двух типов: открытые с конечным звеном в днищах широких падей долинного типа и закрытые, с конечным звеном в замкнутых межгорных котловинах. Исследования показали следующее.

1) Геохимическая специфика ландшафтов определяется вертикальной миграцией в почвах вещества, привнесенного с окружающих горных массивов потоками подземных, грунтовых, почвенно-грунтовых и, в значительно меньшей степени, поверхностных вод. Основными факторами дифференциации элементарных ландшафтно-геохимических систем (ЭЛГС) являются глубина залегания грунтовых вод и гидрохимические особенности водных потоков. На этом основании выделяются трансупераквальные и супераквальные элементарные ландшафты.

2) Относительно почв горных массивов зафиксировано превышение валовых форм наиболее подвижных элементов (U – в 1,6 раза и Mo – в 1,3 раза). Подвижные формы урана присутствуют в значительно более высоких, концентрациях.

К группе элементов с содержаниями около фоновых значений аргунских ландшафтов принадлежит большая ассоциация катионогенных элементов – Cu, Th, Zn, Pb, Ni, Fe, Mn, а также As (табл. 2).

3) Урулюнгуйские ландшафты характеризуются контрастными почвенно-геохимическими обстановками (щелочно-кислотными и окислительно-восстановительными) между входящими в их состав элементарными ландшафтами (трансупераквальными и супераквальными). Процессы аккумуляции в верхней части почвенной толщи с образованием аномалий максимально проявлены в супераквальных ландшафтах центральных частей межгорных котловин и русловых частей палеодолин (рис.1).

В преобладающих восстановительных сильнощелочных

условиях на глеевых, испарительных, термодинамических⁴ геохимических барьерах концентрируются элементы содового комплекса (уран – до 6,5 КК, молибден до 5,0 КК, цинк – до 1,5 КК) и образуются безрудные ландшафтные аномалии. Не входящие в этот комплекс катионогенные элементы (торий, свинец, никель, кобальт, железо, марганец) находятся в рассеянном состоянии.

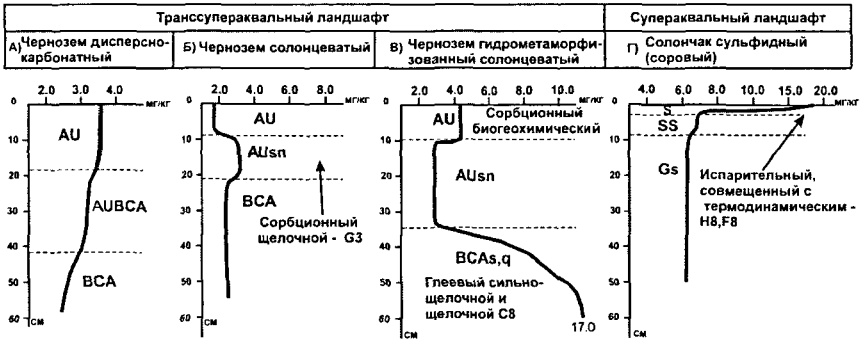


Рис. 1. Основные типы распределения урана в почвах урулонгуйских ландшафтов (почвенные горизонты: AU – темногумусовый; AUBCA – переходный от темногумусового к аккумулятивно-карбонатному; BCA – аккумулятивно-карбонатный; S – солончаковый; SS – солончаковый сульфидный; Gs – глеевый засоленный)

На основе полученных данных составлена ландшафтно-геохимическая карта территории зоны влияния ППГХО М 1:200 000. Она является результатом совместного использования тематических карт, космических снимков, полевых материалов ЛГИ и геохимических интерпретаций полученного в ходе экспедиционных работ материала. На карте отражены геохимические условия миграции вещества в основных выделенных элементарных и геохимических ландшафтах, основные виды геохимических барьеров, типы формирующихся на них аномалий и ассоциации накапливающихся элементов.

⁴ Термодинамический барьер по Перельману (1979) возникает в результате изменения основных термодинамических параметров. В данном случае за термодинамический барьер принимается почвенный горизонт повышенных содержаний элементов, связанных с миграцией солей к фронту промерзания.

Глава 4. ИСТОЧНИКИ И ВИДЫ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СТРЕЛЬЦОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

На основе опубликованных работ (Маринов, 1995; Мосинец, Грязнов, 1983; Перельман, Воробьев, 1998; Тютюнник, 1996 и др.) и результатов собственных исследований охарактеризованы основные источники загрязнения на территории СРП. Показаны основные технологические процессы, определяющие состав техногенных потоков и пути поступления загрязнителей; рассмотрены основные виды воздействия на природную среду и типы формирующихся в ландшафтах техногенных аномалий.

Данные, характеризующие средоизменяющее воздействие технологических процессов переработки урановых руд, производства серной кислоты и хранения отходов переработки руд, представлены в таблице 4.

Основные источники техногенного воздействия сосредоточены в пределах Аргунского горного массива (аргунский геохимический ландшафт). Наиболее опасные в экологическом отношении объекты – хвостохранилища рудоперерабатывающего комплекса (гидрометаллургического - ГМЗ и сернокислотного заводов - СКЗ), площадка кучного выщелачивания, ГМЗ и СКЗ - расположены в северо-восточной части рудного поля. С юга к хвостохранилищам примыкает территория шахтного поля с двумя действующими рудниками, многочисленными шахтами и отвалами отработанной породной массы.

Высокая концентрация на небольшой территории Стрельцовского рудного поля и ближайших окрестностей источников загрязнения, связанных как с основным, так и вспомогательными производствами, привела к формированию в ландшафтах техногенных геохимических аномалий совместного воздействия нескольких источников загрязнения.

Пути поступления загрязнителей в ландшафты и типы формирующихся аномалий

Стадия производства	Технологические процессы	Источники техногенного воздействия	Способы поступления в ландшафты (техногенные потоки)	Основные загрязнители	Типы техногенных аномалий в ландшафтах
Переработка урановых руд	Выщелачивание, сорбция, осаждение, конечные стадии передела	Гидрометаллургический завод	<i>Литохимические</i> – пыль, образующаяся при сортировке, дроблении и измельчении руды <i>Атмосферические</i> – выбросы радиоактивных аэрозолей, Rn, выделяющиеся при дроблении пород <i>Гидрохимические</i> – пары серной, азотной кислот, оксиды серы, азота, углерода	^{238}U , ^{234}U , ^{222}Rn , ^{230}Th , ^{226}Ra , Mo, As, Fe, Pb, Cu, Ni, Mn, Cd, Be, F, SO_4^{2-} , NO_3^- , SO_2 , NO_n , CO и др.	Слабоконтрастные, площадные полиэлементные аномалии в почвах, растительности, водах
Хранение отходов переработки	Транспортировка отходов и их хранение	Хвостохранилища, содержащие твердые и жидкие отходы переработки руд	<i>Атмосферические</i> – эманации ^{222}Rn с поверхности хранилищ <i>Литохимические</i> – пыление с поверхности хранилищ <i>Гидрохимические</i> – просачивание загрязненных растворов в подземные воды	^{238}U , ^{234}U , ^{222}Rn , ^{230}Th , SO_4^{2-} , NO_3^- , Na, F, Mn, Mo, As, Fe, Pb, Cu, Ni, Be, SO_4^{2-} , NO_3^- и др.	Средне- и сильноконтрастные полиэлементные площадные аномалии в почвах, растительности, водах
Производство серной кислоты	Окисление сульфидов, производство серной кислоты	Сернокислотный завод	<i>Литохимические</i> – пылевые тяжелометалльные сульфатные выбросы, огарки. <i>Атмосферические</i> – отходящие газы (газовоздушная смесь, содержащая в т.ч. сернистый газ)	As, Fe, V, Cd, Zn, Pb и др.	Слабоконтрастные площадные полиэлементные аномалии в почвах, растительности, водах
Хранение отходов производства серной кислоты	Транспортировка и хранение отходов	Протекающие лотки, огаркохранилище, содержащее токсичные взвешенные и жидкие отходы	<i>Литохимические</i> – пыление с поверхности хранилищ. <i>Гидрохимические</i> – просачивание загрязненных растворов в подземные воды, утечки с лотка.	As, Fe, Zn, Cu, Pb, V, Cd, SO_4^{2-} , Cl и др.	Средне- и сильноконтрастные полиэлементные площадные аномалии в почвах, растительности, водах

Глава 5. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЛАНДШАФТОВ ЗОНЫ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ УРАНОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Материалы, приведенные в главе, являются обоснованием третьего защищаемого положения.

В главе охарактеризовано геохимическое поле техногенно трансформированных ландшафтов в ЗТВ горно-промышленного комплекса, выявлены основные механизмы формирования техногенных аномалий и предложены критерии отделения от природных аномалий.

Аргунские ландшафты

В ЗТВ предприятия по добыче и переработки урановых руд в пределах аргунских ландшафтов детально рассмотрены: 1) ландшафты зон сброса жидких и складирования твердых отходов добычи и переработки урановых руд; 2) механически преобразованные и химически загрязненные природно-техногенные ландшафты; 3) ландшафты зон аэротехногенного загрязнения.

Установлено, что в составе техногенных аномалий во всех ландшафтах постоянным компонентом является уран. Наиболее контрастные аномалии (105 КК по урану, 455 КК – молибдену, а также мышьяку, цинку и меди и другим элементам) формируются в ландшафтах зон сброса отходов переработки урановых руд и сопутствующих производств, которые являются вторичными источниками воздействия на прилегающие территории.

Аэротехногенное воздействие преимущественно определяется поступлением загрязнителей при ветровом разnose с поверхности хвостохранилищ гидromеталлургического и сернокислотного заводов. В меньшей степени загрязнение обусловлено пылением с поверхности отвалов, выбросами вентиляционных систем заводов и рудников.

По уровням содержания микроэлементов в почвах этих ландшафтов выделены зоны умеренного и слабого аэротехногенного загрязнения. Геохимические аномалии в зоне умеренного аэротехногенного загрязнения содержат уран, торий, молибден, мышьяк, цинк, медь, свинец. Их коэффициенты

аномальности⁵ колеблются от 1,1 до 4,6. Незначительное увеличение валовых концентраций элементов сопровождается многократным ростом подвижных форм, которые определяют реальную картину техногенных изменений. Это связано с высокой долей подвижных форм (95 %) в материале эолового переноса. При более чем двукратном увеличении валового содержания U (с 2,5 до 6,0 мг/кг) в верхнем почвенном горизонте автономных ландшафтов, рост его подвижных форм достигает 16 раз (с 0,1 до 1,6 мг/кг). В процентном выражении доля подвижных форм урана в ландшафтах вершин сопок меняется с фоновых 2,2 % до 26,7 %.

В вертикальном распределении подвижных форм урана зафиксировано также смещение загрязнения в нижние горизонты почв, где доля подвижных форм достигает 7,1 %.

Латеральное распределение урана в катенах аналогично фоновому, но более контрастно: средние значения коэффициента латеральной миграции⁶ для транзитных звеньев катен по валовому содержанию составляет 0,7-0,8; по подвижным формам – 0,3-0,5. По другим элементам латеральное распределение также повторяет фоновые закономерности.

Для выявленных техногенных аномалий установлена зональность, связанная:

а) с влиянием на ландшафты отдельных источников, проявляющимся в индивидуальном составе парагенезисов техногенеза в ландшафтах при преобладающем загрязнении от хвостохранилищ ГМЗ (уран и молибден) и СКЗ (мышьяк, свинец, медь, цинк);

б) с розой ветров, влияние которой проявляется в наибольшем загрязнении ландшафтов наветренных склонов по сравнению с ландшафтами «ветровой тени»;

в) с миграцией элементов в ландшафтах, ведущей к нивелированию до фоновых значений концентраций загрязнителей в транзитных элементарных ландшафтах;

г) с наличием литохимических аномалий, на которые накладываются техногенные, что приводит к совмещению парагенезиса техногенеза и рудогенных аномалий и усилению

⁵ коэффициент аномальности (Ka) – превышение содержания элемента в рассматриваемом компоненте ландшафта относительно его фоновых концентраций

⁶ коэффициент латеральной миграции (L) – отношение содержания элемента в почвах подчиненных ландшафтов к его содержанию в почвах автономных ландшафтов

суммарных полигенетичных аномалий в ландшафтах на породах кальдеры.

В зоне слабого аэротехногенного воздействия достоверны аномальные концентрации только урана с коэффициентами аномальности в диапазоне 1,1-2,2 (при отсутствии рудогенных природных аномалий). Внутризональное изменение в содержании элементов, как и для ландшафтов предыдущей зоны, определяется одинаковым набором факторов.

При отсутствии явных геохимических аномалий, визуальных признаков нарушения экосистем, а также фоновых содержаний элементов на начало разработки месторождений, техногенное загрязнение в таких ландшафтах фиксируется по содержанию подвижных форм урана. В качестве критериев техногенного загрязнения информативно дополнительное совместное использование: а) состава парагенезисов аномалий (природных ландшафтных и рудогенных, техногенных); б) уровня валового содержания микроэлементов; в) характера латерального и профильного распределения элементов.

Урулюнгуйские ландшафты

Основной вектор миграции техногенного вещества из загрязненных аргунских ландшафтов ориентирован в направлении пади Сухой Урулюнгуй, супераквальные ландшафты которой являются барьерной зоной на пути миграции техногенного вещества благодаря наличию в почвах емких геохимических барьеров. Поступление к ним загрязненных грунтовых вод приводит к образованию в разных почвенных горизонтах полиэлементных аномалий, сильно варьирующих по своему составу.

В галоморфных почвах (солончаках) урулюнгуйского ландшафта зафиксированы аномалии урана, мышьяка, цинка и меди. В солевой корке, представляющей собой комплексный испарительный и термодинамический барьер, содержание урана достигает 35 мг/кг (18 КК). По сравнению с солончаками фоновых ландшафтов, где зафиксированы природные ландшафтные аномалии урана, рост концентрации достигает трех раз.

Помимо урановых, выявлены аномалии цинка, мышьяка, меди. Типичные катионогенные элементы и слабоподвижный анионогенный мышьяк в содовой среде солончаков образуют

легкоподвижные комплексные анионы, а постоянное их присутствие в составе загрязненных грунтовых вод создает предпосылки для образования техногенных геохимических аномалий этих элементов. Микроэлементы накапливаются в верхней части почвенного профиля - в солевой корке и солончаковом гумусовом горизонте. В корке солей коэффициент аномальности цинка составляет около 10, в гумусовом горизонте - 18. Для мышьяка и меди геохимические аномалии фиксируются только в гумусовом горизонте и составляют 2,8 и 3,6 единиц фона.

Зафиксированные в почвах супераквальных элементарных ландшафтов геохимические аномалии формируются за счет геохимических процессов как природного (выветривание горных пород, обогащенных рудными компонентами и элементами-спутниками рудообразования с последующей миграцией к урулюнгуйским ландшафтам), так и техногенного (поступление от источников загрязнения) происхождения. Поступление загрязненных грунтовых вод к геохимическим барьерам в этих ландшафтах приводит к усилению имеющихся ландшафтных аномалий и расширению ассоциации концентрирующихся элементов.

По масштабам зафиксированных техногенных аномалий и уровням содержания загрязнителей техногенное воздействие на аргунские ландшафты можно охарактеризовать как умеренно опасное. В ЗТВ предприятия наиболее загрязнение участки занимают не более 10-15 %, а на остальной территории аэротехногенное поступление загрязнителей приводит к формированию слабоконтрастных техногенных аномалий. В то же время миграция загрязнителей в направлении сопряженного урулюнгуйского ландшафта пади Сухой Урулюнгуй создает опасность загрязнения подземных вод, использующихся для водоснабжения города Краснокаменска.

Глава 6. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ЗТВ УРАНОДОБЫВАЮЩЕГО И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Содержание главы является обоснованием четвертого защищаемого положения.

В главе обосновано использование ландшафтно-геохимического подхода для проведения экологического мониторинга наземных сред ЗТВ ППГХО. Такой подход позволяет: максимально адаптировать сеть точек мониторинга к природно-техногенной обстановке; вычлнить потоки загрязнителей, оптимизировав, тем самым, систему опробования и аналитические интерпретации; выявить поведение загрязнителей в геохимических и элементарных ландшафтах; определить защитные возможности ландшафтов (емкость геохимических барьеров, способных аккумулировать загрязнители); выявить эволюционные (в т.ч. техногенные) изменения экосистем.

Обосновано проведение мониторинга в два этапа: первый - этап базовой ландшафтно-геохимической инвентаризации (базовый ландшафтно-геохимический мониторинг); второй - этап текущего мониторинга.

Базовый ЛГМ проводится с целью создания базы данных по состоянию ландшафтов, находящихся вне зоны видимого техногенного воздействия предприятия, до уровня, необходимого для организации текущего ЛГМ. Он включает оценку состояния почв, поверхностных и грунтовых вод, растительности и животного мира. Проведенные автором ландшафтно-геохимические исследования являются, по существу, реализацией данного этапа.

Текущий ЛГМ проводится на основе данных базового ЛГМ, в соответствии с технологическими характеристиками конкретного предприятия и его физико-географическим положением. В его задачи входит фиксирование отклонений геохимических свойств ландшафтов от фоновых значений. Положение сети точек опробования выбирается с учетом типов и особенностей расположения основных источников загрязнения, локализации основных техногенных потоков, ландшафтно-геохимической дифференциации территории в том числе, с учетом наличия

природных аномалий, связанных с вторичными ореолами рассеяния и миграцией элементов в ландшафтах.

Ландшафтно-геохимический анализ показал целесообразность использования индивидуальной сети точек текущего мониторинга для аргунских и урулюнгуйских ландшафтов. Принцип размещения точек контроля в каждом случае определяется структурой природных и техногенных ландшафтно-геохимических полей.

Для мониторинга ландшафтов зон аэротехногенного воздействия предложен метод ландшафтно-геохимического профилирования; опробование по техногенным потокам рассеяния загрязнителей следует использовать для ландшафтов зон сброса жидких и складирования твердых отходов добычи и переработки урановых руд, а также для механически преобразованных и химически загрязненных природно-техногенных ландшафтов.

В урулюнгуйских ландшафтах в качестве объекта мониторинга предложен супераквальный ландшафт. Сеть точек контроля определена в нем в соответствии с направлением миграции вещества в сторону реки Урулюнгуй.

Предложенная система опробования для каждого ландшафта представлена на карте «Сеть точек ландшафтно-геохимического мониторинга ЗТВ горнопромышленного комплекса».

ВЫВОДЫ

1. Использование методов геохимии ландшафтов для оценки воздействия предприятий по добыче и переработки урановых руд на окружающую среду обеспечивает возможность выявления не только аномальных содержаний элементов в ландшафтах, но на основе знаний о механизмах их функционирования позволяет определить природу геохимических аномалий (природные и техногенные) и осуществить прогностические построения о трансформации поля загрязнения.
2. Сложный комплекс ландшафтообразующих факторов определил формирование в Юго-Восточном Забайкалье двух крупных ландшафтно-геохимических единиц с контрастными условиями миграции - ландшафтов горных массивов и межгорных долин и котловин (аргунских и урулюнгуйских геохимических ландшафтов). Собственный для каждого из них

ландшафтно-геохимический фон является основой для оценки геохимической трансформации этих ландшафтов под влиянием добычи и переработки урановых руд.

3. Ландшафтно-геохимический анализ показал наличие в ландшафтах геохимических аномалий двух типов – связанных с вторичными ореолами рассеяния месторождений и обусловленных миграцией в ландшафтах наиболее подвижных элементов. Различие типов проявляется в составе ассоциаций концентрирующихся элементов, пространственной локализации аномалий и уровнях содержания подвижных форм урана.
4. Добыча и переработка урановых руд осуществляется в условиях высокой концентрации источников загрязнения от основного и сопутствующих производств. Основными из них являются: объекты добычи урановых руд и хранения отходов добычи (рудники, площадки кучного выщелачивания, отвалы отработанной породной массы и др.); объекты переработки руд и хранения отходов переработки (ГМЗ, СКЗ, хвостохранилища рудоперерабатывающего комплекса), ТЭС, цементный завод и другие источники. В результате формирующиеся в ландшафтах техногенные геохимические аномалии, как правило, являются результатом совместного воздействия нескольких источников загрязнения.
5. Дифференциация природно-техногенного геохимического поля проявляется в изменении парагенных ассоциаций накапливающихся элементов, уровней их содержания, латерального и профильного распределения в зависимости от: типа источника (или группы источников) загрязнения, розы ветров, транзитных или аккумулятивных возможностей ландшафта, наличия природных аномалий.
6. В качестве критериев выявления техногенного поступления вещества в ландшафты, в том числе, для выявления «слабых сигналов» предложено использовать: а) наличие геохимических аномалий, особенно подвижных форм элементов; б) характер латерального и вертикального перераспределения элементов в ландшафтах; в) состав парагенезисов.
7. Разработаны рекомендации проведения ландшафтно-геохимического мониторинга ЗТВ горно-промышленного

комплекса, состоящего из этапа базовой ландшафтно-геохимической инвентаризации и текущего мониторинга. На карте показана сеть точек наблюдений, основанная на структуре природных и техногенно измененных геохимических полей.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В разделе приведены основные из 24 опубликованных работ автора по теме диссертации.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Ландшафтно-геохимические исследования при оценке радиозоологического состояния окружающей среды в зоне влияния уранодобывающего и перерабатывающего комплекса (на примере Стрельцовского Мо-U рудного поля) / В.И. Величкин, **И.И. Чуднявцева** // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2009. – № 2. – С. 99-114.

Публикации в других изданиях

2. Оценка техногенного воздействия на природные ландшафты Стрельцовского U-Mo рудного поля / В.И. Величкин, И.В. Мельников, А.Е. Самонов, **И.И. Чуднявцева** // Уран на рубеже веков: природные ресурсы, производство, потребление. Сборник тезисов Международного симпозиума по геологии урана. 29 ноября – 1 декабря 2000 г. – М., 2000. – С. 158-160.

3. Геохимические особенности горно-промышленных ландшафтов Стрельцовского рудного поля (Приаргунье) / А.Е. Самонов, **И.И. Чуднявцева** // Научные аспекты экологических проблем. Труды Всероссийской конференции. – М.: Наука, 2002. – С. 427-433.

4. Ландшафтно-геохимический метод в радиогеоэкологии (на примере исследований по оценке загрязнения окружающей среды предприятием по добыче и переработке урановых руд) / **И.И. Чуднявцева**, А.Е. Самонов // Современные методы эколого-геохимической оценки состояния и изменений окружающей среды. Сборник тезисов докладов Международной школы. 15-20 сентября. – Новороссийск, 2003. – С. 140-141.

5. Uran Geochemistry in Landscapes of Streltsovsky U-Mo Ore Field (Russia) / **I.I. Chudnyavtzeva**, А.Е. Samonov // Uranium Geochemistry 2003: Uranium Deposits – Natural Analogs – Environment. Proceedings of International Conference. – 2003. – P. 119-121.

6. Экологические проблемы добычи урана / Н.П. Лаверов, В.И. Величкин, А.В. Тимофеев, **И.И. Чуднявцева** // Проблемы сырьевого обеспечения атомной энергетики. Сборник трудов по материалам научно-практического семинара. – С-Пб., 2004. – С. 20-27.

7. Радиогеохимия ландшафтов ураново-рудных провинций / **И.И. Чуднявцева**, А.Е. Самонов // География, общество, окружающая среда. Природно-антропогенные процессы и экологический риск. – М.: Городец, 2004. – Т.IV. – С. 367-381.

8. Геохимические особенности ландшафтов рудных полей (на примере Стрельцовского U-Мо рудного поля) / **И.И. Чуднявцева** // Геохимия биосферы (к 90-летию А.И. Перельмана). Сборник докладов Международной научной конференции. Москва. 15-18 ноября 2006 г. – Смоленск: Ойкумена, 2006. – С. 383-384.

9. Естественные радионуклиды в горно-промышленных ландшафтах урановорудных полей (на примере Стрельцовского U-Мо рудного поля) / **И.И. Чуднявцева** // Вторая Российская школа по радиохимии и ядерным технологиям. 4-8 сентября 2006 г. Сб. тезисов. – Озерск, 2006. – С. 125-128.

10. Естественные радионуклиды в сухостепных ландшафтах Приаргуны (на примере Стрельцовского U-Мо рудного поля) / **И.И. Чуднявцева** // Радиохимия-2006. 23-27 октября 2006 г. Сб. тезисов докладов пятой Российской конференции. – Дубна, 2006. – С. 299-300.

11. Геохимические ландшафты и их радиозэкологическое состояние в районах размещения ядерно-радиационных предприятий России / В.И. Величкин, Е.Н. Борисенко, А.Ю. Мирошников, В.И. Мыскин, Н.В. Кузьменкова, **И.И. Чуднявцева** // Геохимия биосферы (к 90-летию А.И. Перельмана). Сборник пленарных докладов Международной научной конференции (дополнительный выпуск). Москва. 15-18 ноября 2006 г. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – С. 1-17.

12. Evaluation of Radiation Ecology Status Around Russian Nuclear and Radiation Enterprises Based on Landscape-Geochemical Research / V.I.Velichkin, Ye. N. Borisenko, A.Yu. Miroshnikov, V. I. Myskin, N.V.Kuzmenkova, I.I. Chudnyavtseva // Cleaning up Sites Contaminated with Radioactive Materials. International Workshop proceedings. - 2009. - P. 32-42.

Подписано в печать 05.11.2009
Формат 60x88 1/16
Тираж 100 экз.
Отпечатано в ООО «Соцветие красок»
119992 г. Москва, Ленинские горы, д. 1
Главное здание МГУ, к. 102