

На правах рукописи

Онищук Наталья Анатольевна

**ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО РЕЖИМА СНЕЖНОГО
ПОКРОВА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ
В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 25.00.30 – метеорология,
климатология, агрометеорология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Казань 2010

Работа выполнена в Учреждении Российской Академии наук Лимнологическом институте
Сибирского отделения РАН

Научный руководитель:

доктор географических наук
Ходжер Тамара Викторовна

Официальные оппоненты:

доктор географических наук, профессор
Васильев Александр Александрович

доктор химических наук, профессор
Латыпова Венера Зиннатовна

Ведущая организация:

ГУ Институт глобального климата и экологии
Росгидромета и РАН

Защита диссертации состоится 23 декабря 2010 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д.212.081.20 в Казанском (Приволжском) федеральном университете по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, корп. 2, ауд. 1512.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Автореферат разослан «__» ноября 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат географических наук, доцент



Хабутдинов Ю.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В настоящее время изменения климата становятся очевидными для каждого жителя Планеты. С каждым годом они наносят все больший экономический ущерб и нередко влекут за собой необратимые экологические последствия. Атмосферная среда – один из важнейших климатообразующих факторов, поэтому изучение состояния ее естественной и антропогенной составляющих приобретает все большую актуальность. Региональные исследования такого рода восполняют дефицит информации, необходимой для понимания тенденций происходящих изменений. В Сибирском регионе вариации климата влияют на продолжительность залегания снежного покрова, а интенсивное развитие промышленности приводит к усилению эмиссий химических компонентов в атмосферу. В загрязнение атмосферы вносит свой вклад и трансграничный перенос поллютантов, который практически не изучен. В конечном счете, интенсивная техногенная миграция химических элементов в ряде случаев оказывается сопоставимой с их переносом в результате естественных геологических процессов. Поступление загрязнителей на земную поверхность с атмосферными осадками приводит к их накоплению в различных компонентах окружающей среды, что нарушает природное экологическое равновесие, необратимо влияя на течение биологических процессов.

В качестве объекта исследования был выбран юг Иркутской области, поскольку здесь можно проследить не только влияние климатических факторов на режим снежного покрова, но и воздействие районов с неблагоприятной экологической обстановкой на состав атмосферных выпадений, а также оценить роль трансграничного переноса загрязнителей. В последние десятилетия в регионе отмечено увеличение кислотности атмосферных осадков, которое способствует переходу нерастворимых соединений металлов в растворенное состояние, что усиливает их потенциальную угрозу растительному и животному миру. Особую актуальность работе придает тот факт, что в районе исследований находится озеро Байкал - уникальный природный объект, отнесенный к Участкам Мирового Наследия, в настоящее время приобретающий стратегическое значение как крупнейший источник питьевой воды на Планете. Промышленное загрязнение воздушного бассейна реально угрожает экосистеме озера и окружающим его природным комплексам.

Использование в работе новейших аналитических методов (масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, рентгено-флуоресцентный анализ с синхротронным излучением) дает возможность наиболее детально исследовать химию атмосферных выпадений в Байкальском регионе.

Цель работы: исследовать отклик атмосферных выпадений на изменения климата и экологическую ситуацию на юге Иркутской области

Задачи исследований:

1. исследовать динамику основных характеристик снежного покрова на территории Иркутской области;
2. определить химический состав атмосферных осадков и снежного покрова в промышленных и фоновых районах юга Иркутской области за период 2001-2009 гг.;
3. оценить поступление химических элементов из атмосферы на подстилающую поверхность в промышленных центрах исследуемой территории и выявить вклад растворимых и нерастворимых фракций атмосферных примесей в формирование состава атмосферных осадков и снежного покрова;
4. исследовать влияние продолжительности стационарирования циклонов на химический состав атмосферных осадков;
5. выявить элементы-трассеры переноса атмосферных примесей от стационарных источников выбросов на юге Иркутской области и изучить возможность использования изотопных отношений свинца в качестве трассеров дальнего переноса загрязняющих примесей в атмосфере.

Научная новизна.

1. Впервые охарактеризованы изменения основных показателей устойчивого снежного покрова, произошедшие за последние десятилетия на территории юга Иркутской области на фоне региональных изменений климата.

2. Впервые рассмотрен химический состав атмосферных осадков на территории юга Иркутской области и его изменения в зависимости от продолжительности стационарирования циклонических вихрей в регионе.

3. Впервые использованы современные методы пробоподготовки и анализа образцов (ИСП-МС, РФА-СИ), что позволило расширить набор изучаемых элементов (свыше 20), исследовать содержание их различных форм в атмосферных выпадениях, повысить надежность определения концентраций.

4. Впервые установлены различия в интенсивности накопления тяжелых металлов на подстилающей поверхности в промышленных центрах юга Иркутской области с учетом их индустриальных особенностей и влияния метеорологических факторов. Выявлены специфические трассеры загрязнения снежного покрова для городов Слюдянка и Шелехов.

5. Получены первые данные о концентрации растворенных и взвешенных форм элементов в атмосферных осадках и снежном покрове на территории исследуемого

региона на основе непрерывных наблюдений, выполненных с 2001 по 2009 гг.

6. Впервые показано что, изотопные отношения свинца в атмосферных осадках юга Иркутской области и Приморского края служат трассерами переноса атмосферных примесей на большие расстояния.

Достоверность полученных результатов подтверждена большим объемом исходной метеорологической информации (данные непрерывных наблюдений по 89 станциям и 92 постам за период 2000-2009 гг.), применением современных методов статистической обработки данных, а так же соответствием сделанных выводов данным, аналогичным результатам, опубликованным в отечественной и зарубежной литературе. Правильность выполнения химических анализов исследуемых элементов в изученных природных образцах подтверждена участием в международной программе мониторинга и оценки дальнего атмосферного переноса загрязняющих веществ в Европе (ЕМЕР, 2009).

Практическая значимость.

Многолетние исследования (2001-2009 гг.) состава атмосферных осадков и снежного покрова позволили оценить поступление элементов, в том числе тяжелых металлов, на подстилающую поверхность в районах юга Иркутской области, различных по метеорологическим условиям и уровню антропогенной нагрузки. Полученные результаты могут быть использованы природоохранными ведомствами для оценки современного состояния атмосферы и прогноза его возможных изменений в будущем с учетом колебаний климатических и антропогенных факторов на изучаемой территории.

Материалы работы использованы в отчетах по международной программе «Сеть станций мониторинга кислотных выпадений в Восточной Азии ЕАНЕТ» (ЕАНЕТ, 2008). Данные, регулярно получаемые в рамках созданной сети станций мониторинга, ежегодно передаются в Иркутское Управление гидрометеослужбы (УГМС), а также в Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на следующих российских и международных конференциях и совещаниях: VIII, X, XI, XIV, XV, XI рабочая группа «Аэрозоли Сибири» (Томск, 2001, 2003, 2004, 2007 - 2009), The 8th International Joint Seminar on the Regional Deposition Processes in the Atmosphere (Иркутск, 2002), IX International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics (Иркутск, 2003), 6-й Международный симпозиум «Контроль и реабилитация окружающей среды» (КРОС-2008) (Томск, 2008), VII Международная конференция «Естественные и антропогенные аэрозоли» (Санкт-Петербург, 2010).

Публикации и личный вклад автора. В основу диссертации положены исследования, полученные при непосредственном участии автора. Им отобрано и проанализировано более 1000 проб атмосферных осадков и около 500 проб снежного покрова. Выполнено свыше 80 тыс. определений более 20 химических элементов методами

рентгенофлуоресцентного анализа с синхротронным излучением и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Работа выполнена в лаборатории гидрохимии и химии атмосферы ЛИН СО РАН в соответствии с планами НИР СО РАН по Программе СО РАН 24.3. «Атмосферные процессы и их влияние на природно-климатические изменения Сибири с учетом антропогенного воздействия», по Проекту 24.3.3. «Исследование малых примесей, аэрозолей и осадков (химические и биологические компоненты) над Байкальской природной территорией и газообмена Байкала с атмосферой в условиях глобального накопления CO_2 », по Международной программе EANET в рамках Национального центра контроля качества данных России - «Сеть станций мониторинга кислотных выпадений в Восточной Азии». Исследования поддержаны грантом РФФИ - Япония 08-05-91203. Диссертант был награжден стипендией фонда содействия отечественной науки «Лучшие аспиранты 2008 года». По теме диссертации опубликовано 14 работ.

Основные положения и результаты исследования, выносимые на защиту.

1. Современные изменения климата на территории Иркутской области сопровождаются увеличением запасов влаги в снежном покрове и уменьшением продолжительности залегания устойчивого снежного покрова.
2. Вокруг городов юга Иркутской области происходят изменения состава снежного покрова, полиэлементные ореолы его загрязнения отражают специфику основных источников выбросов загрязняющих веществ.
3. Изотопные отношения свинца в атмосферных выпадениях могут служить трассерами переноса примесей на большие расстояния.
4. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в теплый период существенно зависит от продолжительности стационарирования циклонов на территории юга Иркутской области.

Структура и объем диссертации; благодарности. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и приложения. Текст изложен на 149 страницах, содержит 50 рисунков, 22 таблицу. Список литературы включает 185 источника.

Автор выражает глубокую благодарность д.г.н. Т.В. Ходжер за научное руководство, к.т.н. Л.П. Голобоковой, д.г.н. Мизандронцеву И.Б., к.г.н. В.А. Оболкину, к.х.н. Е.П. Чебыкину, д.г.-м.н. Л. З. Граниной, сотрудникам лаборатории гидрохимии и химии атмосферы ЛИН СО РАН за содействие в выполнении исследований и помощь при оформлении диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определены цель и задачи исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, раскрыта научная и практическая значимость работы и показан личный вклад диссертанта.

В первой главе по литературным данным, отражено современное состояние изученности химического состава атмосферных осадков и снежного покрова в различных регионах земного шара, включая южные районы Сибири. Рассматриваются метеорологические условия, при которых формируется высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха, химического состава атмосферных осадков. Подробно описаны основные источники загрязнения атмосферы на территории Иркутской области и современные методы их исследования с точки зрения прогнозирования неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

Во второй главе дана краткая физико-географическая характеристика района исследования. Проанализированы циркуляционные и климатические условия в холодные и теплые периоды года в южной части Иркутской области, рассмотрены современные тенденции изменения климата в глобальном и региональном масштабах.

Иркутско-Черемховская предгорная равнина, на которой располагается исследуемая территория, наклонена на север и северо-запад. С юго-запада, юга и востока она ограничена горными хребтами. Значительные и резкие различия высот, особенно горной области Восточного Саяна, определяют многообразие в пространственном распределении климатических условий. Обилие форм котловинного типа непосредственно влияют на формирование температурного и ветрового режима юга Иркутской области.

Удаленность исследуемой территории от воздействия океана, сложная расчлененность рельефа, преобладание в умеренных широтах западного переноса способствует наиболее выраженным сезонным термическим различиям между восточными частями материков и западными частями океанов. С развитием резких сезонных возмущений, проявляющихся в значительных меридиональных составляющих воздушных течений, связаны существенные изменения синоптических процессов.

В зимний период над южной территорией Иркутской области господствует северо-восточная антициклоническая форма циркуляции, при которой у земли наблюдается северо-восточная часть Азиатского антициклона. Весной преобладает западная форма циркуляции. Над регионом проходят циклоны в направлении с запада на восток, сопровождаясь тыловыми вторжениями антициклонов. Типичная форма циркуляции летом – центральная, когда у поверхности земли наблюдается слабоградиентное поле

пониженного давления. В целом, в течение года антициклонические формы циркуляции незначительно (на 10%) превосходят циклонический тип погоды.

В настоящее время циркуляционный режим испытывает серьезные изменения, наглядным отражением которых служат более частые погодные аномалии, наблюдаемые в различных регионах земного шара. Анализ макроциркуляционных характеристик атмосферы показывает значительное увеличение индексов зональной циркуляции, приземной циклонической деятельности. Ее усиление создавало условия для более глубокого проникновения воздушных масс из Атлантики в регион Байкала в холодную часть года. Следствием этих условий было аномально высокое повышение температуры воздуха (годовой на 1,9, зимней почти на 8°C) (Шимараев и др., 2002).

Наряду с изменением термического режима, в Восточной Сибири произошло увеличение годового количества осадков, хорошо выраженное по северу региона (~ 80 мм) и менее выраженное по югу, за исключением летнего сезона, в котором увеличение осадков в первой половине века сменилось их уменьшением во второй половине прошедшего века.

В целом, климатический режим юга Восточной Сибири характеризуется как резко континентальный с продолжительной малоснежной зимой и коротким, но влажным летом.

В третьей главе описаны методы и объекты исследования. За период с 2001 по 2009 гг. проанализировано более 1000 проб атмосферных осадков, около 500 проб снежного покрова. Выполнено свыше 80000 определений различных элементов. Осуществлялся анализ 28 элементов в нерастворимой фракции атмосферных выпадений методом РФА СИ (Институт геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск) и 20 элементов в растворенной фракции методом ИСП МС (Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск). Проанализировано около 100 проб атмосферных осадков на изотопный состав свинца. Отбор проб атмосферных осадков производили в режиме мониторинга на трех различных по степени антропогенной нагрузки станциях: Иркутск – городская, Листвянка – импактная и Монды – фоновая (рис. 1). С 2000 г. все станции вошли в международную программу «Сеть станций мониторинга кислотных выпадений в Юго-Восточной Азии» (EANET). Снежный покров отбирали в конце зимнего сезона в городах Иркутск, Шелехов, Слюдянка и вдоль трасс Иркутск – Листвянка, Иркутск – Байкальск. Использованы и статистически оценены данные непрерывных наблюдений по 89 станциям и 92 постам за период 2000-2009 гг.

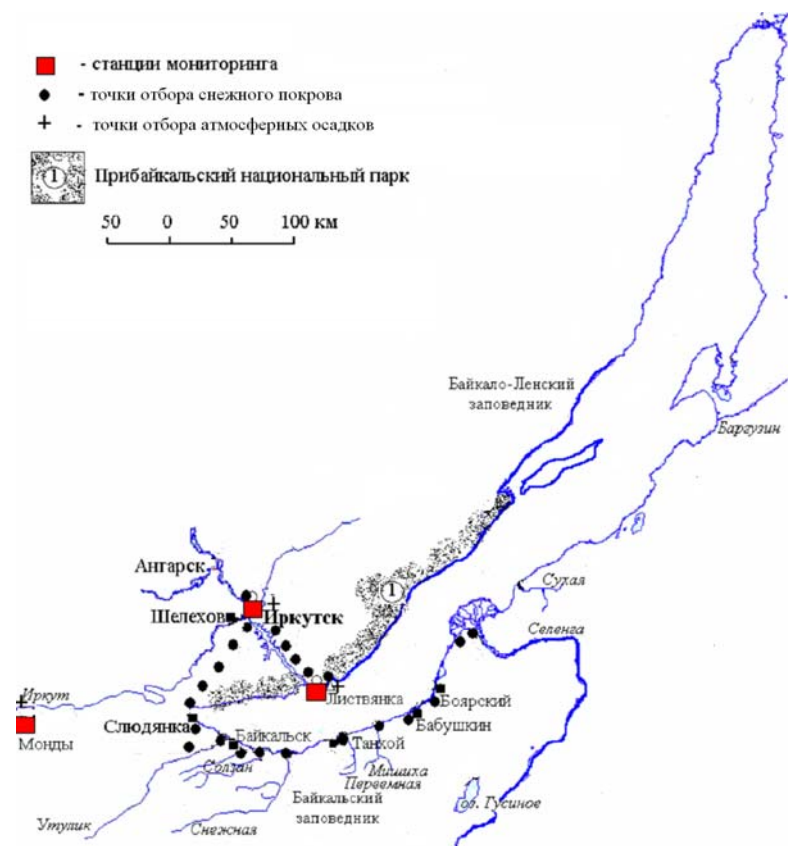


Рис. 1. Карта-схема района исследования

В четвертой главе рассмотрена динамика основных характеристик снежного покрова на территории Иркутской области, выявлены основные пространственно-временные закономерности в распределении характеристик снежного покрова и проведено картирование территории с учетом специфики производств в промышленных центрах юга Иркутской области.

На большей части рассматриваемой территории снежный покров появляется в первой – второй декадах октября. По данным наблюдений метеорологических станций, расположенных на территории Иркутской области, проведено сравнение дат формирования устойчивого снежного покрова за многолетний период (1891-1960 гг.) и в последнее десятилетие (2000-2009 гг.). Выявлено, что в современный период, устойчивый снежный покров в северных районах Иркутской области и на побережье Байкала образуется в среднем, на 5 дней позже сравнительно с многолетними данными.

По данным 1891-1960 гг. разрушение устойчивого снежного покрова на юго-востоке Иркутской области происходило, в среднем – 23 марта, в северной и центральной частях области – 26 апреля, в южных районах – 20-25 апреля, а в высокогорных районах Хамар-

Дабана – 21 мая. В настоящий период (2000-2009 гг.) в северных и южных районах Иркутской области снежный покров разрушается – в среднем на 10 дней раньше.

Проведенный анализ выявил, что в связи с более поздним установлением и более ранним разрушением снежного покрова, на значительной части Иркутской области в последнее десятилетие отмечена тенденция к уменьшению продолжительности его залегания (рис. 2).

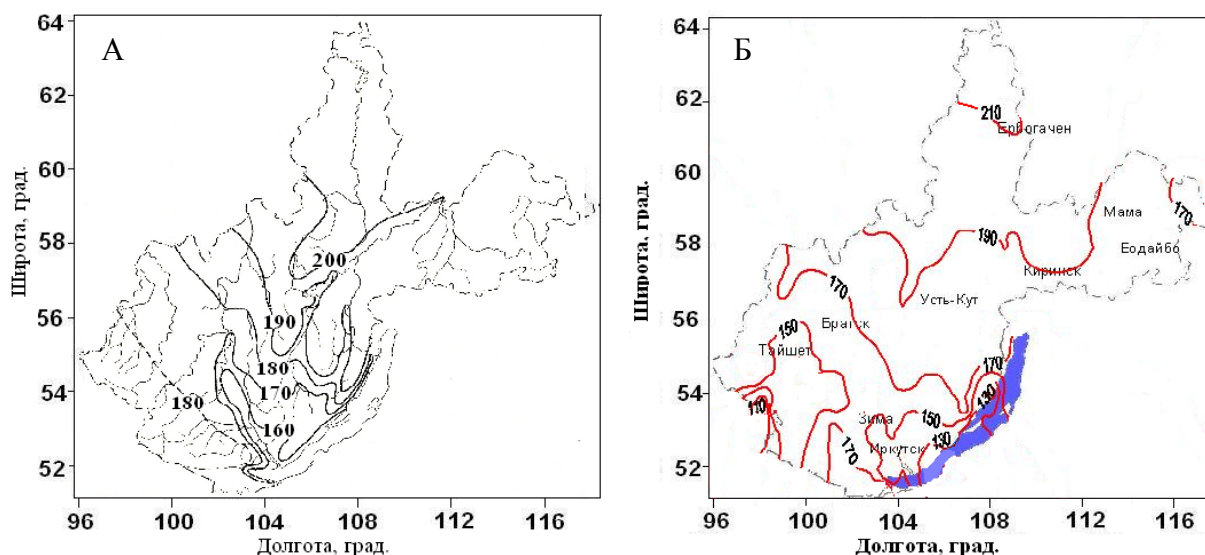


Рис. 2. Среднемноголетнее число дней со снежным покровом на территории Иркутской области за периоды: 1891-1960 гг. (А) и 2000-2009 гг. (Б).

Наряду с данными о продолжительности залегания снежного покрова важно иметь представление о высоте покрова и запасах воды в снеге, что напрямую влияет на режим увлажнения почв и, следовательно, на эффективность сельского хозяйства. Известно (Щербакова, 1961), что длительное стационарирование Азиатского антициклона в условиях частых инверсий температур и нисходящих движений воздушных масс не способствует образованию высокого снежного покрова на территории Иркутской области. Как правило, наиболее интенсивный рост высоты снежного покрова обычно происходит в ноябре-декабре, так как в этот период на фоне увеличения температурных контрастов между сушей и океаном возрастает вероятность выхода ныряющих и южных циклонов на южные районы Иркутской области, в которых происходят интенсивные процессы облако- и осадкообразования. Максимальной величины высота снежного покрова обычно достигает в марте, и на большей части Иркутской области она составляет 40-50 см (рис. 3). В отличие от снижения продолжительности залегания снежного покрова, временная динамика его высоты не показывает существенных изменений в последнее десятилетие, за исключением северо-восточных районов области, где высота снежного покрова в среднем на 10 см выше, чем в период 1891-1960 гг.

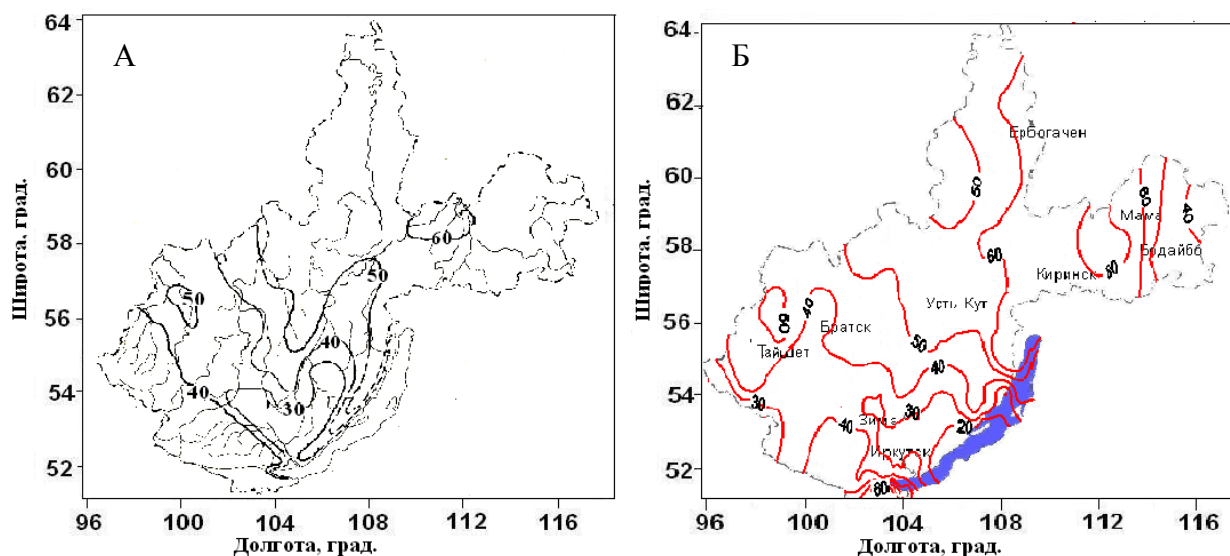


Рис. 3. Высота снежного покрова на территории Иркутской области - за периоды: 1891-1960 гг. (А) и 2000-2009 гг. (Б).

Поскольку характер залегания снежного покрова находится в непосредственной зависимости от местных условий, степени защищенности территории и шероховатости подстилающей поверхности, большой практический интерес представляет исследование запасов воды в снежном покрове. Проведено картирование территории по данному показателю, которое показало, что преимущественно в северных и центральных районах Иркутской области в последние годы происходит незначительное увеличение запасов влаги в снежном покрове. На наш взгляд, это может служить откликом на региональные изменения климата, проявляющиеся в повышении средних температур воздуха, особенно, в зимний период (рис. 4).

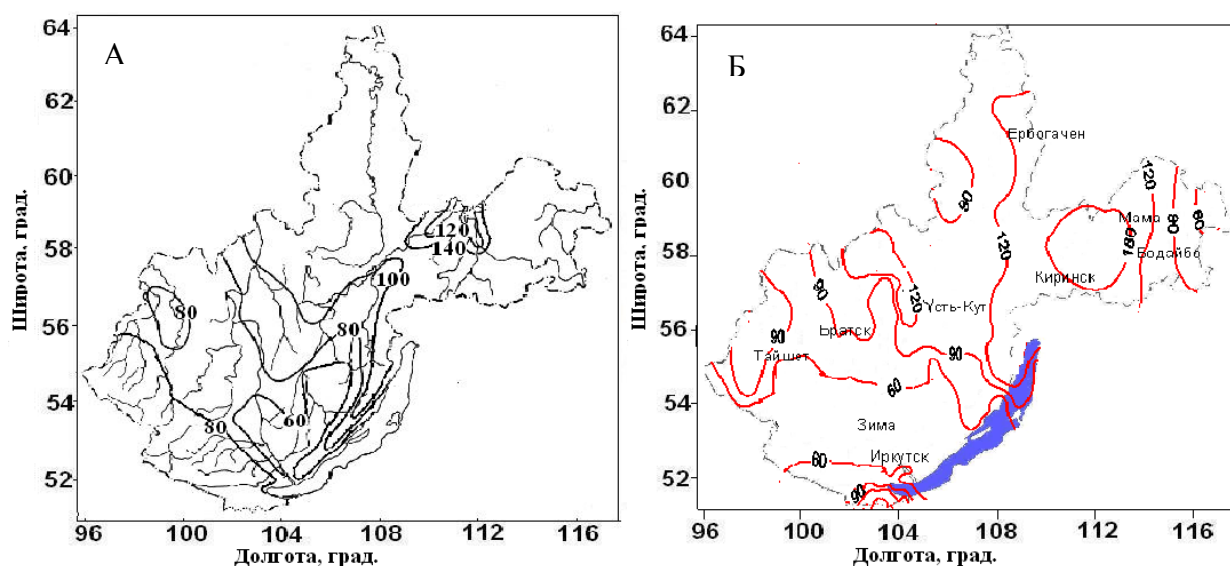


Рис. 4. Запасы воды в снежном покрове на территории Иркутской области за периоды: 1891-1960 гг. (А) и 2000-2009 гг. (Б).

Химический состав снежного покрова так же изменился за последние годы. На примере г. Иркутска, наиболее крупного промышленного центра Иркутской области, проведено сравнение наших данных (2001-2009 гг.) с материалами более ранних исследований (1986-1991 гг.) (Экогеохимия, 1993). Оно показало, что в снежном покрове отмечается почти шестикратное снижение концентраций свинца (с 445 мг/кг до 69 мг/кг), увеличение в два раза концентрации Ni (до 142 мг/кг) и Mn (до 530 мг/кг), в три раза концентрации Sr (до 407 мг/кг). Концентрации таких элементов, как Cu (212 мг/кг), Cr (92 мг/кг), Zn (249 мг/кг) в снежном покрове практически не изменились.

Сопоставление данных концентраций загрязняющих веществ с такими метеорологическими параметрами, как направление и скорость ветра, температура воздуха и количество атмосферных осадков выявило, что наибольшее накопление Zn, Sr и As в снеге происходило тогда, когда в области были наиболее холодные зимы (рис. 5). Для этих же периодов характерно и преобладание ветров северо-западной четверти. As и Sr являются типичными элементами, содержащимися в углях, сжигаемых в ТЭЦ города. Крупная угольная Ново-Иркутская ТЭЦ расположена на северо-западе г. Иркутска, поэтому преобладание СЗ ветров в зимы 2005 и 2006 годов способствовало повышенному накоплению этих элементов в снежном покрове города. Аналогичное увеличение концентраций Zn с ростом концентраций As и Sr в снежной воде может свидетельствовать о том, что этот элемент также поступает в атмосферу при сжигании углей.

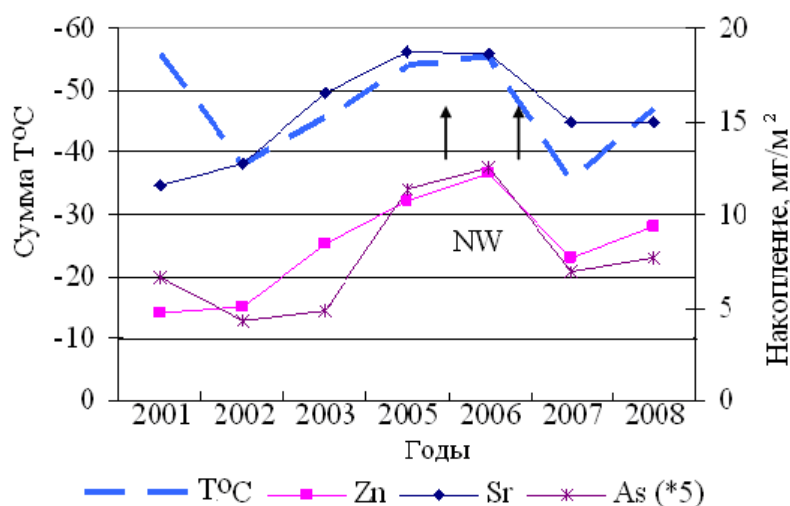


Рис. 5. Динамика накопления Zn, Sr, As в снежном покрове г. Иркутска и суммы отрицательных температур воздуха зимних месяцев (декабрь-февраль) за период 2001-2008 гг. Стрелками показаны преобладающие направления ветров в зимы с максимальным накоплением указанных элементов в снежном покрове.

Господствующие направления ветров определяют положение и конфигурацию

ореолов рассеивания аэровыбросов относительно их источника. В качестве объекта исследования были выбраны три города Иркутск, Слюдянка и Шелехов, различающиеся по мощности источников выбросов в атмосферу. Для них также характерна низкая способность атмосферы к самоочищению (количество осадков, скорость ветра, приземная стратификация). По результатам снегомерных съемок рассчитано накопление элементов в снежном покрове для каждого из городов.

Для характеристики пространственного распределения элементов был использован метод геометрической оценки, включающий в себя методику интерполяции естественного соседства. Этот метод позволяет создавать точные модели поверхностей из точечных данных, которые произвольно распределены в пространстве. На рис. 6 представлена карта накопления цинка и мышьяка, построенная по результатам исследований, выполненных автором в 24 точках отбора проб за период с 2002 по 2009 г.

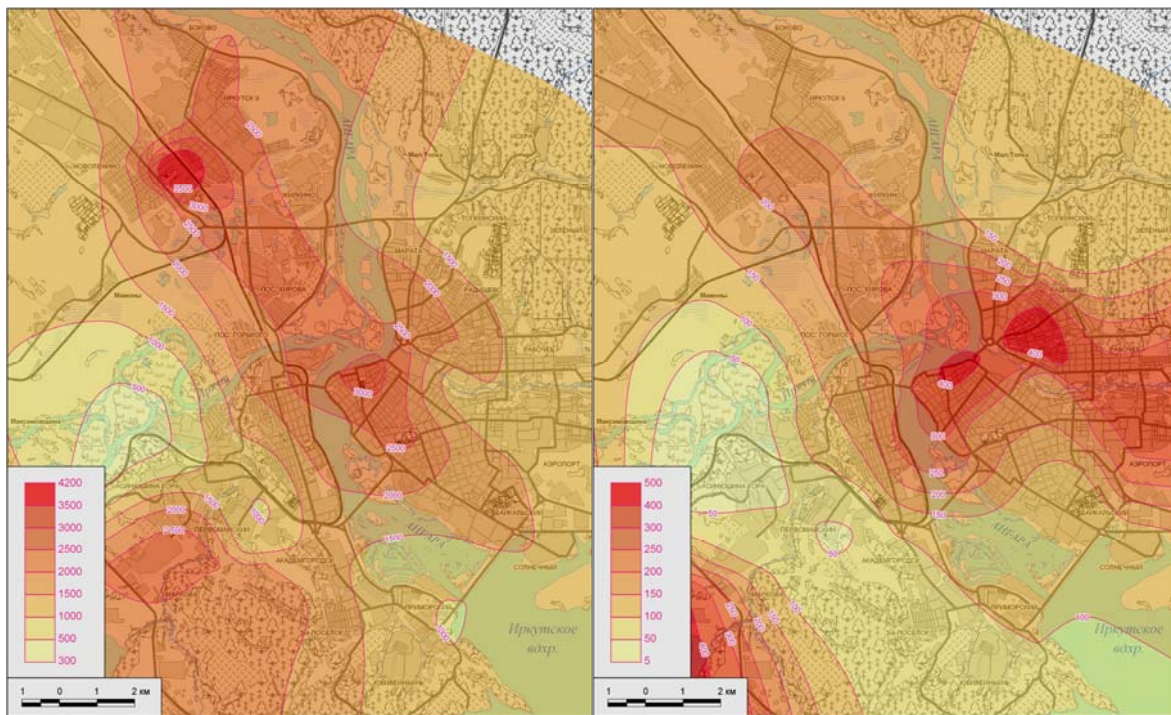


Рис. 6. Карты накопления цинка (слева) и мышьяка (справа) в снежном покрове г. Иркутска (2002-2009 гг.), мкг/м^2

Выявлено, что в снежном покрове г. Иркутска наибольшие накопления мышьяка происходят в центральной части и на северо-западе города. Здесь они обусловлены, прежде всего, выбросами в атмосферу от – мелких котельных в центральной части Иркутска и значительным вкладом Ново-Иркутской ТЭЦ. Вклад теплоэнергетики от общего количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Иркутска составляет 69.2 % (Гос. Доклад, 2008). Максимумы накопления цинка обусловлены выбросами в атмосферу от предприятий Иркутского авиационного завода, кирпичного завода и других

источников (рис. 6). Так как основные источники выбросов расположены в Ленинском районе города, а преобладающими являются ветры северо-западной четверти, ориентированные по долине реки Ангары, то при благоприятных ветровых потоках высока вероятность накопления цинка и в центральной части Иркутска.

Из карт накопления алюминия и мышьяка в снежном покрове, построенных для г. Шелехов, следует, что максимумы накопления наблюдаются вблизи предприятий, являющихся, согласно (Гос. Доклад, 2008), основными источниками загрязнения атмосферы: ОАО «ИрАЗ-СУАЛ» (67,5%), Шелеховская ТЭЦ (15,7%) и ЗАО «Кремний» (15%). Следует отметить, что растворимость алюминия в снежном покрове г. Шелехов аномально высокая и составляет около 50 %, при растворимости природных соединений алюминия 0,6-10 %. Это связано с высоким содержанием фтор-иона в составе снежного покрова.

В г. Слюдянка основными источниками загрязнения воздушного бассейна служат предприятия горнодобывающей индустрии (карьер «Перевал», Слюдянское рудоуправление), асфальтобитумный завод, 18 котельных, а также частные дома с печным отоплением (Гос. Доклад, 2008). Здесь максимальное накопление мышьяка в снежном покрове, как и в гг. Иркутск и Шелехов, сосредоточено вокруг предприятий теплоэнергетики.

В районе карьера «Перевал», где проводятся взрывные работы при добыче мрамора, в снежном покрове г. Слюдянка выявлено максимальное накопление стронция и кальция. При горно-долинных ветрах загрязненные примеси распространяются на и на побережье оз. Байкал.

В таблице 1 представлены результаты химического анализа твердой взвеси снежного покрова гг. Иркутск, Шелехов и Слюдянка и состав золы углей, используемых в регионе. В снежном покрове городов содержание некоторых элементов повышено в сравнении с кларком земной коры. Известно, что при прохождении зольных выбросов через электрофильтры их состав изменяется. Возрастают концентрации микроэлементов, а это значит, что в атмосферу после очистки электрофильтров выбрасывается еще более обогащенная мелкодисперсная фракция золы (Бойко, 2003). Содержание мышьяка в летучей золе угольных электростанций составляет 43–312 мг/кг (Мышьяк, 1985). Концентрации некоторых элементов во взвеси снежного покрова г. Иркутска выше по сравнению с составом угольной золы. Вероятно, состав формируется не только под воздействием выбросов городских источников (промышленность, автотранспорт), но и в результате переноса примесей с воздушными массами от других районов Ангарско-Черемховского промышленного узла.

Таблица 1. Средний химический состав зол Ирша-Бородинского (I) и Азейского (II) месторождений, твердой взвеси снежного покрова городов и кларк земной коры, мг/кг.

Элемент	I	II	г.Иркутск	г.Шелехов	г.Слюдянка	Кларк
	зола углей*		города			
Zn	53.0	100	290	140	113	68
Pb	11.0	55.0	70	61	27	12.5
Ge	0.80	8.2	9.8	6.2	3.2	1.5
Ni	65.0	100	180	60	46	75
Cr	60.0	120	120	64	45	100
V	60.0	190	240	45	74	135
Cu	56.0	230	260	68	120	55
Mo	2.4	5.3	2.9	2.1	0.9	1.5
Sr	6000	640	350	59	550	375
As	3.5		70	69	17	1.8
U	22.0	13.0	6	1.4	7	2.7
Th	19.0	40.0	28	15	17	9.6
Источник	Бойко и др., 2003	Бойко и др., 2003				Гейлор, 1964

* - зола с электрофильтров ТЭЦ

Корреляционный анализ между концентрациями примесей в пунктах-источниках загрязняющих веществ в атмосферу и в пунктах-рецепторах показывает, что влияние выбросов г. Иркутска прослеживается на обширной территории. Наибольшая корреляция ($r=0.84$) выявлена в п. Листвянка, удаленном на 70 км от Иркутска. Несколько слабее она в долинах рек Переемная ($r=0.72$) и Снежная ($r=0.55$), расположенных на восточном берегу Байкала напротив долины р. Ангары. По долине Ангары возможен перенос в этот район от выбросов Иркутско-Ангарского промышленного узла (Аргучинцев, 1997). Выбросы предприятий г. Слюдянка, расположенного на берегу южной оконечности озера, не прослеживаются ни в одном из исследованных районов. Влияние выбросов предприятий г. Шелехов наблюдается по долине р. Иркут в г. Иркутске, а также в населенных пунктах Подкаменная и Глубокая, находящихся в 55 и 65 км в юго-западном направлении от города.

Концентрации элементов в снеговой воде зависят не только от загрязненности воздуха, но и от количества выпавшего снега. Поэтому для сравнения уровня загрязнения

разных по абсолютному количеству атмосферных выпадений районов использовали величину накопления элементов в снежном покрове (табл. 2). В окрестностях городов величины накопления элементов в снежном покрове в несколько раз выше, чем в отдаленных районах, даже в тех случаях, когда в последних величина влагозапаса выше, например, в населенных пунктах Глубокая и Подкаменная. В снежном покрове г. Иркутска отмечен высокий уровень накопления таких элементов, как Zn, Ti, V и Cu, в г. Шелехов - Al, K, Cr, Mn, As, Mo и Pb. В г. Слюдянка повышено накопление в снежном покрове Ca и Sr.

Таблица 2. Средние значения накопления элементов в снежном покрове в различных районах исследуемой территории, мг/м²

Элемент	г. Иркутск	г. Шелехов	г. Слюдянка	д. Подкаменная	д. Глубокая
Al	72.0	920.0	180.0	290.0	190.0
K	71.0	96.0	32.0	48.0	69.0
Ca	280.0	280.0	680.0	71.0	180.0
Ti	10.0	8.6	5.9	6.1	6.9
V	0.67	0.53	0.50	0.22	0.17
Cr	0.33	0.44	0.28	0.17	0.17
Mn	4.0	4.5	2.5	1.5	2.4
Fe	120.0	120.0	95.0	69.0	74.0
Ni	0.66	0.68	0.23	0.21	0.16
Cu	0.95	0.66	0.53	0.32	0.20
Zn	2.0	1.6	0.57	1.07	0.78
As	0.19	0.60	0.09	0.01	0.02
Sr	4.40	2.30	5.70	0.58	0.71
Mo	0.05	0.13	0.05	0.02	0.11
Pb	0.25	0.37	0.12	0.13	0.02
W*, мм	51	61	44	89	93

* - запас воды в снеге

В пятой главе представлена оценка влияния крупномасштабных атмосферных процессов на концентрацию примесей в атмосферных выпадениях исследуемого региона. Рассмотрен режим атмосферных осадков и их химический состав. Показаны соотношения между содержанием элементов в растворимой и твердой фазах атмосферных осадков, а также выявлены элементы-трассеры переноса загрязняющих веществ с воздушными потоками на большие расстояния.

На большом фактическом материале (более 1000 проб), полученном на трех станциях мониторинга атмосферы (Иркутск, Листвянка, Монды), различающихся по степени антропогенной нагрузки, выявлена сезонная и межгодовая динамика содержания

растворенных и взвешенных форм ряда элементов в атмосферных осадках. На всех станциях концентрации определяемых элементов в нерастворимой фракции атмосферных осадков выше в зимний период. В растворимой фракции атмосферных осадков такая закономерность не сохраняется, концентрации многих элементов выше в летний период.

Для анализа синоптических ситуаций с использованием программы “Digital Atmosphere” (автор Tim Vasquez: www.weathergraphics.com) из общего ряда атмосферных осадков выбрано 22 случая выпадения дождей. Программа позволяет получать дистанционные синоптические данные в цифровом виде с международных сайтов через Интернет и строить синоптические карты для любого района мира и любого масштаба, в том числе, кольцевые карты. Выбранные 22 случая дождя группировали различным образом в зависимости от рассматриваемых гипотез влияния синоптических ситуаций на минерализацию осадков.

Согласно первой гипотеза при преобладающем западном и северо-западном переносе воздушных масс атмосферные осадки на юге Иркутской области могут быть более загрязнены, чем при южном и восточном, так как к западу и северо-западу от региона расположено больше крупных промышленных предприятий. Поэтому из 22 случаев были проанализированы 2 группы осадков (табл.3).

Вторая гипотеза заключалась в том, что минерализация осадков может зависеть от интенсивности атмосферных циркуляций над регионом. Для её проверки рассматриваемые дожди были объединены в следующие две группы. Первая включала атмосферные осадки, связанные с неглубокими малоподвижными циклонами над территорией юга Иркутской области со слабыми приземными скоростями ветра. Во вторую группу включены атмосферные осадки, связанные с интенсивными крупномасштабными циклонами и интенсивным переносом воздушных масс над регионом.

Для шести случаев различных синоптических условий, а также для всего исходного ряда дождей (22 случая) подсчитывали среднюю минерализацию осадков и среднеквадратические отклонения (σ) (табл. 3). Ожидалось, что для случаев, в которых имеется какая-либо закономерность, величина σ должна существенно понижаться по сравнению с исходным рядом. Оценивали также асимметрию распределения, которая оказалась сравнительно невелика, что позволяет принять гипотезу о нормальном распределении рассматриваемых рядов.

Как видно из таблицы, существенные различия в минерализации осадков (более чем двукратные и выше, чем ошибка средней) получены только для тех групп, которые отличаются интенсивностью циклонических образований над регионом (показаны

жирным шрифтом). Для этих же двух групп отмечается двукратное снижение среднеквадратического отклонения по сравнению с исходным рядом (а также по сравнению с другими группами), что также подтверждает не случайность обнаруженной закономерности. Вероятно, в периоды, когда над исследуемым регионом на долгое время задерживается неглубокий малоподвижный циклон, происходит накопление атмосферных загрязнений в регионе. Оно обусловлено более длительной конвергенцией воздушных движений в циклоне, постоянно обогащающих атмосферу загрязняющими веществами в процессе активизации восходящих токов. И напротив, когда осадки связаны с интенсивными крупномасштабными процессами, на территории исследуемого региона отмечаются повышенные скорости ветра в значительной толще нижней тропосферы, что способствует более быстрому рассеиванию загрязняющих веществ и, как следствие, меньшему уровню загрязнения атмосферы.

Таблица 3. Характеристики изменчивости общей минерализации атмосферных осадков на территории юга Иркутской области при различных синоптических условиях

Синоптические условия	Число случаев	Средняя минерализация (мг/л)	σ	Асимметрия распределения
Весь ряд	22	17.0 ± 1.9	8.7	0.37
Восточный перенос	3	19.2 ± 7.8	11.0	-
Западный перенос	19	16.6 ± 1.9	8.2	0.28
Юго-западный перенос	4	16.5 ± 2.9	5.8	-
Северный, северо-западный перенос.	13	17.3 ± 2.7	9.3	0.16
Малоподвижный циклон	10	22.9 ± 1.6	4.9	-
Крупномасштабные интенсивные циклоны	8	10.5 ± 1.9	4.9	-

Рассчитаны соотношения между содержанием элементов в растворимой и твердой фазах атмосферных осадков на станциях мониторинга юга Иркутской области (рис. 7). В атмосферных осадках городской станции Иркутск большая часть металлов содержится в нерастворимой форме. Аналогичное соотношение концентраций металлов в растворимой и нерастворимой фракциях атмосферных осадков наблюдается и на ст. Листвянка. На фоновой ст. Монды доля растворимых форм элементов в атмосферных осадках выше.

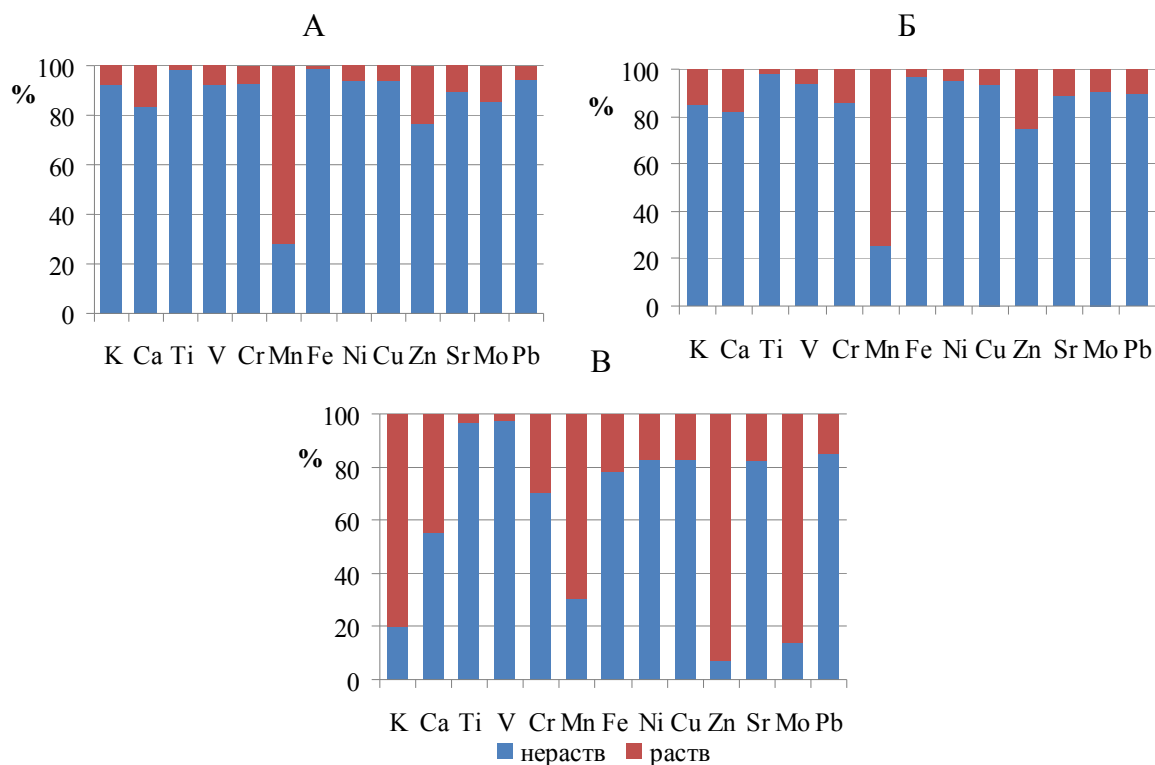


Рис. 7. Соотношение между содержанием элементов в растворимой и твердой фазе атмосферных осадков на станциях мониторинга юга Иркутской области: А – ст. Иркутск, Б - ст. Листвянка, В – ст. Монды.

Одной из задач исследования было выявление элементов-трассеров переноса загрязняющих веществ с воздушными потоками на большие расстояния. Для этого, помимо станций мониторинга на юге Иркутской области, была дополнительно выбрана станция Приморская, расположенная в сельской местности на удалении 150 км от г. Владивостока. В атмосферных осадках на всех станциях наблюдения проводили определения не только концентрации свинца, но и его изотопный состав.

В осадках на ст. Приморская концентрация свинца была выше, чем на станциях юга Иркутской области и изменялась в течение года от 0.2 мкг/л до 12.7 мкг/л при среднем значении 3.22 мкг/л. Столь существенный разброс величин обусловлен различными синоптическими процессами, определяющими пути переноса атмосферных примесей с осадками в этот район. Для станций Монды, Иркутск и Листвянка средние концентрации свинца составили 0.22, 0.33 и 0.9 мкг/л, соответственно. При этом изотопный состав свинца в атмосферных осадках юга Иркутской области и Приморского края близок к изотопному составу рудного свинца Казахстанских месторождений средние изотопные отношения для которого характеризуются величинами $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.878$; 0.862 и $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2.116$; 2.099 . Полученные результаты свидетельствуют о том, что именно этот источник определяет присутствие свинца в атмосфере исследованных регионов.

Установлено, что повышение на порядок концентрации свинца в атмосферных осадках на ст. Иркутск происходит во время прохождения циклонов, сформировавшихся над территорией Казахстана (рис.8). На станции Приморская в ряде случаев отмечены высокие концентрации свинца (до 12.7 и 11.4 мкг/л) и одновременно низкие изотопные отношения для $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (0.857 и 0.859) и для $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (2.087 и 2.101).

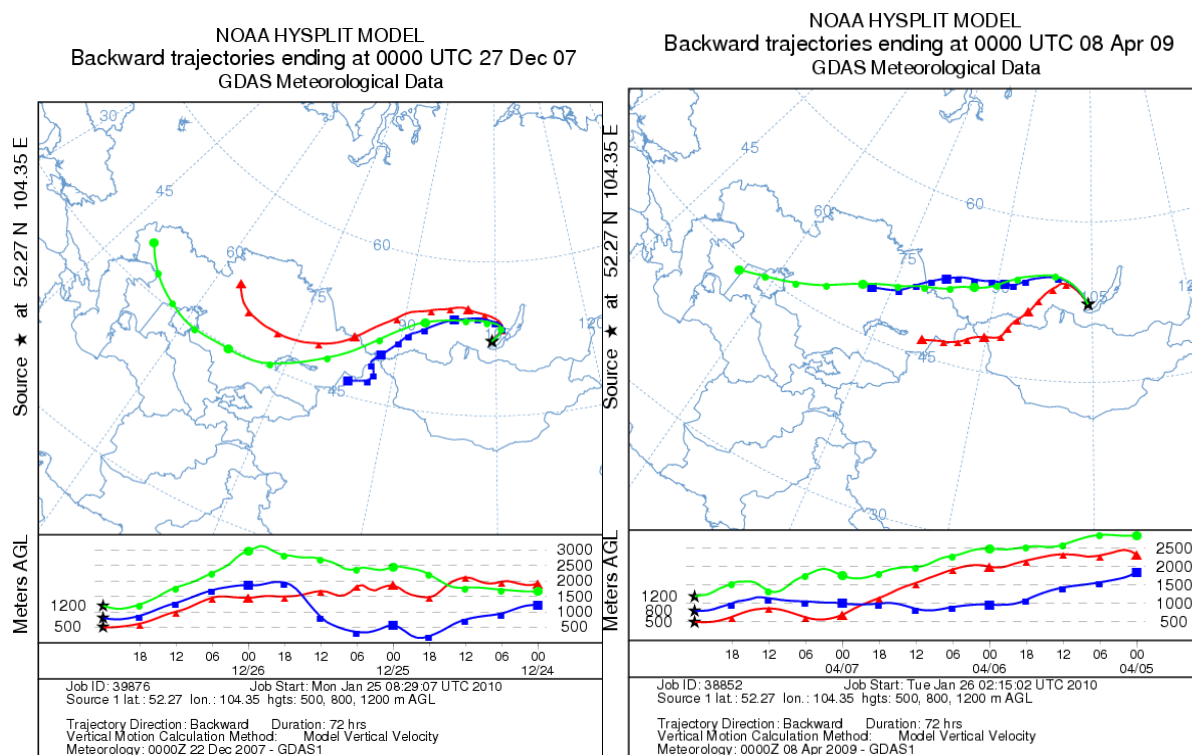


Рис. 8. Траектории движения воздушных масс для станции Иркутск

Согласно (Mukai, 2001), в аэрозолях ближайших к ст. Приморская городов Китая Харбин и Чангчунь изотопные отношения в зимний период также низки: для $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.853$ и 0.858 ; для $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2.098$ и 2.113 , соответственно. При этом суммарная концентрация свинца в атмосферных аэрозолях высока и составляет для г. Харбин 282 нг/м^3 , для г. Чанчунь – 177 нг/м^3 . В то же время, на станциях мониторинга юга Иркутской области (Иркутск, Листвянка, Монды) содержание свинца в атмосферном аэрозоле составляет 33.1 , 18.3 и 1.7 нг/м^3 , соответственно.

По нашим предположениям, высокие концентрации свинца и, соответственно, низкие изотопные отношения, определенные на ст. Приморская, связаны с периодическим поступлением загрязненных воздушных масс на территорию Приморского края из Китая. В качестве примера трансграничного переноса загрязненных примесей рассмотрен химический состав атмосферных осадков, выпавших на станции Приморская 12-13 и 28-29 октября, а также 5 и 22 ноября 2006 г. Концентрация свинца в этих осадках повышена, а изотопные отношения близки между собой и схожи с таковыми для аэрозолей городов

Китая. Анализ траекторий воздушных масс, полученных с использованием модели обратных траекторий HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model) для 12.X.06 и 5.XI.06, показал, что атмосферные выпадения вызваны циклоном, который сформировался над территорией Китая.

Выводы

- Выявлены изменения характеристик снежного покрова, произошедшие за последнее десятилетие на территории юга Иркутской области: смещение к более поздним срокам образования и более ранним срокам разрушения снежного покрова и, соответственно, уменьшение продолжительности залегания снежного покрова на фоне повышения региональных температур, особенно в зимний период.
- Показано, что при малоподвижных циклонах происходит накопление примесей в атмосфере, в результате чего минерализация атмосферных осадков возрастает в два раза сравнительно с осадками, образующимися при циклонах с быстрой сменой воздушных масс.
- Оценены закономерности пространственного распределения, а также сезонной и межгодовой динамики концентраций растворимых и нерастворимых форм двадцати шести элементов в составе атмосферных осадков и снежного покрова в изучаемом регионе.
- Показано, что накопление загрязняющих веществ (As, Zn, Cu, Pb, Sr, Mn) в снежном покрове существенно различается на разных по степени антропогенной нагрузки территориях юга Иркутской области. В урбанизированных районах их накопление в 2-4 раза выше по сравнению с фоновыми.
- Установлено, что в фоновых районах преобладает поступление с атмосферными осадками растворенных форм металлов, тогда как на урбанизированных территориях - взвешенных форм металлов.
- Выявлены трассеры загрязнения снежного покрова в городах. Для г. Шелехов это алюминий, для г. Слюдянка – кальций и стронций. На формирование химического состава снежного покрова г. Иркутск оказывают влияние преимущественно такие типичные для крупных городов источники загрязняющих веществ, как транспорт и топливно-энергетический комплекс.
- Получены данные по изотопным отношениям свинца в атмосферных осадках урбанизированных и фоновых районов юга Иркутской области и Приморского края. Показано, что они могут служить трассерами переноса атмосферных примесей на большие расстояния. В частности, по этим показателям выявлено влияние

трансграничного переноса загрязненных атмосферных примесей из промышленных районов Китая на воздушную среду Приморского края.

Основные публикации по теме диссертации

1. Оболкин В.А. Элементный состав нерастворимой фракции зимних атмосферных выпадений в некоторых районах Южного Прибайкалья / В.А. Оболкин, **Н.А. Онищук**, Т.В. Ходжер, С.Ю. Колмогоров // Оптика атмосферы и океана. – 2004. – Т. 17. – № 5-6. – С. 414-417.
2. Obolkin V.A. Multi-elemental composition of insoluble particles in snow cover at some sites of South-East Siberia / V.A Obolkin, **N.A. Kobeleva**, Yu.P. Kolmogorov, T.V. Khodzher // The 8th International Joint Seminar on the Regional Deposition Processes in the Atmosphere. – Irkutsk. – 2002. – P. 47-54.
3. Голобокова Л.П. Атмосферные выпадения в Прихубсугулье и на юге Восточного Саяна // Л.П. Голобокова, Т.В. Ходжер, В.А. Стальмакова, О.Г. Нецветева, В.Л. Потемкин, Т.В. Погодаева, **Н.А. Онищук** // География и природные ресурсы. – 2004. – № 3. – С. 69-75
4. Khodzher T.V. Multyelement Composition of Atmospheric aerosol and Atmospheric Deposition in Eastern Siberia (Russia) / T.V. Khodzher, **N.A. Onischuk**, V.A. Obolkin, Yu.P. Kolmogorov // Geophys. Research Abstracts of EGU General Assembly, Nice (France). – 2004. – P. 6.
5. Semenov M.Y. Assessing the acidification risk in the Lake Baikal region / M.Y. Semenov, T. V. Khodzher, V.A. Obolkin, V.M. Domysheva, L.P. Golobokova, **N.A. Kobeleva**, O.G. Netsvetaeva, V.L. Potemkin, R. Van Grieken, N. Fukuzaki // Chemistry and Ecology. – 2006. – V. 22. – № 1. – P. 1-11.
6. Голобокова Л.П. Мониторинг атмосферных аэрозолей Сибири и арктического бассейна России / Л.П. Голобокова, А.Г. Горшков, В.Л. Макухин, И.И. Маринайте, Е.В. Моложникова-Чипанина, О.Г. Нецветева, В.А. Оболкин, **Н.А. Онищук**, В.Л. Потемкин, Т.В. Ходжер 1.3. Атмосферные исследования в Байкальском регионе // Интеграционные проекты СО РАН. – Вып.9. Аэрозоли Сибири. – 2006. – С. 58-148.
7. **Onischuk N.A.** Concentration and Isotopic Ratio of Lead in Wet Depositions in Several Regions of East Asian Russia / **N.A. Onischuk**, T.V. Khodzher, E.P. Chebykin, Y. Hiroaki, O. Tsuyoshi, S.A. Gromov // Eanet. Science Bulletin. – 2008. – V. 1. – P. 211-219.
8. **Онищук Н.А.** Изотопные отношения свинца в атмосферных осадках как трассеры переноса атмосферных примесей на большие расстояния / **Н.А. Онищук**, Т.В. Ходжер // VI Международный симпозиум «Контроль и реабилитация окружающей среды» // Тез. докладов. – Томск. – 2008. – С. 370-371.

9. **Онищук Н.А.** Элементный состав атмосферных выпадений на Байкальской природной территории / Н.А. Онищук, Т.В. Ходжер // XV рабочая группа «Аэрозоли Сибири». К 100-летию теории МИ // Тез. докладов. – Томск. – 2008. – С. 63.
10. **Онищук Н.А.** Элементный состав атмосферных выпадений на Байкальской природной территории / Н.А. Онищук, Т.В. Ходжер // Оптика атмосферы и океана. – 2009. – Т. 22. – № 6. – С. 579-584.
11. **Онищук Н.А.** Свинец и его изотопные отношения в атмосферных выпадениях отдельных районов Азиатской территории России / Н.А. Онищук, Т.В. Ходжер, Е.П. Чебыкин, Е.В. Чипанина // География и природные ресурсы. – 2009. – №4. – С. 33-44.
12. Кучменко Е.В. Оценка вклада промышленной зоны г. Шелехова в загрязнение геосистемы долины реки Олхи / Е.В. Кучменко, М.С. Зароднюк, О.А. Балышев, Е.В. Чипанина, И.В. Томберг, Л.М. Сорокикова, **Н.А. Онищук** // Известия Самарского научного центра РАН. – 2009. – Т. – 11 №1(3). – С. 301-306.
13. **Онищук Н.А.** Элементный состав атмосферных аэрозолей БПТ / **Н.А. Онищук**, Л.П. Голобокова, Т.В. Ходжер // XVI рабочая группа «Аэрозоли Сибири» // Тез. докладов. – Томск. – 2009. – С. 54.
14. Чипанина Е.В. Определение источников формирования элементного состава атмосферных осадков и атмосферного аэрозоля в Прибайкалье / Е.В Чипанина. **Н.А. Онищук** // VII Международная конференция «Естественные и антропогенные аэрозоли» // Тез. докладов. – Санкт-Петербург. – 2010. – С. 81.