

*На правах рукописи*

**МЕЖИБОР АНТОНИНА МИХАЙЛОВНА**

**ЭКОГЕОХИМИЯ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В ВЕРХОВЫХ  
ТОРФАХ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 25.00.36 - Геоэкология

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

**ТОМСК – 2009**

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Томский политехнический университет»

**Научный руководитель:** доктор геолого-минералогических наук  
Арбузов Сергей Иванович

**Официальные оппоненты:** доктор геолого-минералогических наук  
Попов Виктор Константинович

кандидат геолого-минералогических наук  
Бернатонис Вилис Казимирович

**Ведущая организация:** Институт геологии и минералогии СО РАН,  
г. Новосибирск

Защита состоится 29 июня 2009 г. в 16.00 час. на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.07 при Томском политехническом университете по адресу: 634050, г. Томск, ул. Советская, 73, 1-й корп. ТПУ, ауд. 111

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета (634050, г. Томск, ул. Белинского, 55)

Автореферат разослан «\_\_\_» мая 2009 г.

Ученый секретарь совета по защите  
докторских и кандидатских  
диссертаций



С. И. Арбузов

## Введение

**Актуальность темы.** Развитие промышленности неизбежно ведет к загрязнению окружающей среды, поэтому вопросы определения степени антропогенного влияния на нее являются особенно актуальными в настоящее время. Масштабы загрязнения окружающей среды от промышленных центров достаточно велики, и можно говорить об интенсивном формировании биогеохимических провинций в окрестностях больших городов (Бояркина, 1993, Рихванов, 2006). Почва, вода, снег являются наиболее распространенными компонентами природной среды, используемыми для исследования антропогенных загрязнений. Их изучение позволяет получить достаточно полную характеристику состояния природной среды. Однако анализ и оценка изменения окружающей среды за длительный период времени требует значительного количества данных. Для территории Томской области со специфичным характером промышленности ретроспективная оценка изменения состояния окружающей среды имеет особенно важное значение. Относительно новым и перспективным направлением исследований экологического состояния природной среды и его изменения с течением времени является изучение стратифицированных образований (годовые кольца деревьев, ледники, торфяные отложения и др.). Стратифицированные образования являются удобным материалом при мониторинговых исследованиях изменения геохимического состава биосферы. Использование торфяных отложений для долговременной ретроспективной оценки трансформации окружающей среды перспективно в районах с широким распространением верховых торфяников, питание которых осуществляется в основном за счет атмосферных выпадений. К числу таких регионов относится и Томская область, треть территории которой заторфована, в том числе 60 % по верховому типу.

**Цель исследований** - определить степень и динамику антропогенного воздействия на биосферу в Томской области путем изучения содержаний и закономерностей распределения элементов-примесей в верховых торфяниках.

**Задачи исследований:**

- оценить средние содержания элементов-примесей в торфах Томской области;
- изучить вертикальное и латеральное распределение элементов-примесей в верховых болотах, расположенных на территории Томской области и подверженных антропогенной нагрузке разной степени;
- изучить вертикальное распределение элементов-примесей в интервале глубин торфа, отвечающих последнему столетию и оценить степень и динамику антропогенного воздействия на биосферу в этот отрезок времени;
- изучить формы нахождения элементов-примесей в торфе.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

- проведены оценки средних содержаний элементов-примесей в торфах Томской области, основанные на результатах количественного анализа более 2000 проб торфа;
- установлена геохимическая специализация верховых торфов Томской области;
- выявлены закономерности вертикального и латерального распределения элементов-примесей в верховых торфах Томской области;
- оценена степень и динамика загрязнения окружающей среды в районе Томск-Северской промышленной агломерации с использованием верхового торфа, выявлены элементы-индикаторы техногенного воздействия;
- установлено несколько временных интервалов загрязнения окружающей среды плутонием и радиоактивным цезием, соответствующих периоду интенсивных ядерных испытаний в атмосфере в 1961-1963 гг. и периодам аварий на Сибирском химическом комбинате;
- установлено, что уран и трансураниевые элементы в торфах находятся в ионообменной форме и связаны с органическим веществом.

**Практическая значимость** результатов исследования заключается в возможности использования верховых торфяников для изучения геохимической трансформации биосферы в результате техногенеза в районах с высокой степенью антропогенного воздействия, в том числе в нефтегазодобывающих регионах и районах воздействия предприятий ядерно-топливного цикла. Доказано, что верховой торф может служить надежным индикатором антропогенного поступления радионуклидов в окружающую среду. Выявленные временные интервалы максимального поступления химических элементов позволяют более четко интерпретировать полученные геохимические данные и устанавливать возможные источники загрязнения окружающей среды. Результаты исследований используются при чтении учебных курсов «Геохимический мониторинг», «Геохимия», «Геоэкология» для студентов по специальности «Геоэкология».

#### **Основные защищаемые положения:**

1. Оценено среднее содержание элементов-примесей в торфах Томской области. Установлено, что торфа Томской области геохимически специализированы на Au, Sb, Br, Ba, Co, Cr. Выполненные оценки средних содержаний элементов-примесей в верховом торфе позволяют рассматривать их как фоновый уровень при изучении изменения состава атмосферных выпадений с использованием верхового торфа как индикатора загрязнения окружающей среды.

2. Выявлена латеральная и вертикальная зональность распределения элементов-примесей в верховых торфах Томской области. В латеральном распределении элементов-примесей в верховых торфах установлена основная тенденция увеличения содержаний Na, Cr, U и лантаноидов с юга на север, Cs, Hf и Sc – на северо-запад, Ca – с севера на юг. Установлено, что распределение

элементов-примесей в вертикальном профиле торфяных залежей верхового типа, расположенных в зоне влияния разнопрофильных производств гг. Томска и Северска, отражает специализацию этих производств и динамику загрязнения атмосферы.

3. Основная масса элементов-примесей в верховых торфах находится в ионообменной форме и в форме органических соединений. Для лантаноидов, Cs, Co, U главное значение имеет ионообменная форма, для Am — ионообменная и органическая, для Au — органическая.

**Апробация работы.** Основные результаты исследования были обсуждены на межвузовских и международных научных и научно-практических конференциях в России и за рубежом: научном симпозиуме студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2004, 2005, 2006, 2007 гг.); международной биогеохимической школе «Актуальные проблемы геохимической экологии» (Семипалатинск, 2005 г.); научной школе «Болота и биосфера» (Томск, 2005 г.); международной конференции «Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий» (Москва, 2006 г.); всероссийской конференции молодых ученых «Фундаментальные проблемы новых технологий в 3-м тысячелетии» (Томск, 2006 г.); международной конференции “Metals in the environment” (Вильнюс, Литва, 2006 г.); на конференции “Essentially and Toxicity of Macro, Trace and Ultratrace Elements” (Енна, Германия, 2006 г.); всероссийской научной конференции «Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды» (Иркутск, 2007 г.), международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика К.И. Лукашева «Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых» (Минск, 2007, 2008 гг.).

В рамках выполнения данной работы были осуществлены две научные стажировки в г. Страсбург (Франция) и г. Карлсруэ (Германия), которые были профинансированы за счет грантов правительства Франции и немецкого фонда DAAD соответственно.

**Публикации.** Основные положения и выводы работы опубликованы в 15 научных трудах, в том числе в 3-х изданиях, рекомендованных ВАК РФ. 6 работ опубликовано за рубежом, в том числе 2 статьи в ведущих международных периодических изданиях.

**Исходные материалы и личный вклад автора.** Фактическим материалом для написания диссертации послужили данные автора по изучению торфяных месторождений Петропавловский Рям, Водораздельное, Пуховское, Песочкинское, а также результаты исследований специалистов кафедр геоэкологии и геохимии, химической технологии топлива и химической кибернетики, геологии и разведки полезных ископаемых Томского политехнического университета, Института климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск), Института почвоведения СО РАН (г. Новосибирск),

Института геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск), и опубликованные данные.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, изложенных на 153 страницах печатного текста, содержит 106 рисунков и 24 таблицы. Список литературы насчитывает 190 наименований.

**Благодарности.** Автор работы выражает глубокую признательность за руководство диссертацией проф. С. И. Арбузову; за помощь в проведении исследований и ценные рекомендации проф. Л. П. Рихванову, В. С. Архипову, В. В. Ершову, Ю. И. Прейс, проф. Ф. Готье-Ляфай (Франция); за проведение аналитических работ А. Ф. Судыко, С. Г. Маслову, Ю. И. Прейс, М. С. Мельгунову, Й. Эйкенберг (Швеция); за поддержку и помощь всем сотрудникам кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета.

### **Основное содержание работы**

Во **Введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна полученных результатов, защищаемые положения, практическая значимость работы.

В первой главе **«Торф как индикатор загрязнения атмосферы»** освещаются преимущества использования торфяных отложений в качестве индикатора ретроспективной оценки изменения геохимического состава биосферы. Указываются также сложности использования данного метода, связанные с миграцией химических элементов в торфяных залежах и ботаническим составом торфа.

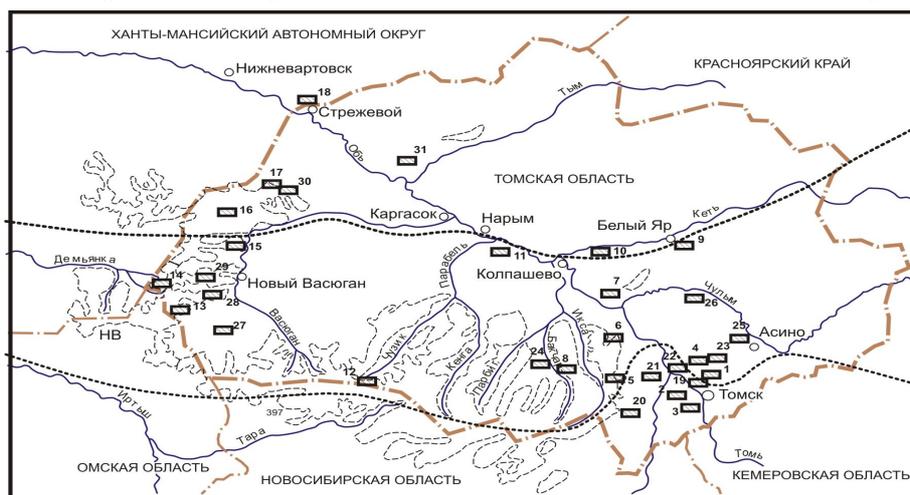
Дается характеристика ранее проведенных исследований в данном направлении. Обосновывается необходимость накопления фактического материала по распределению элементов-примесей в верховом торфе разных регионов с различной степенью техногенной нагрузки. Определенное место в этих исследованиях должно быть отведено и Западно-Сибирскому региону, в том числе Томской области со специфическим набором производств, интенсивное развитие которых наблюдается в последние 60-65 лет.

Во второй главе **«Источники поступления загрязняющих веществ в атмосферу на территории Томской области»** приведены краткие сведения о геологическом строении, месторождениях полезных ископаемых и геохимических особенностях района исследований, дана характеристика антропогенных локальных и глобальных источников загрязнения атмосферы. Анализ опубликованных материалов показал, что поступление элементов-примесей в торфяники определяется, в первую очередь, минеральным составом подстилающих грунтов и окружающих их суходолов. Важным источником атмосферной пыли (глинистых минералов) является ветровая эрозия почв. Техногенное поступление элементов-примесей в торфяники в промышленной зоне Томской области определяется производствами ядерно-топливного цикла

( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , U, Pu, Am, La, Ce, Sm, Eu, Yb, Lu и др.) (Рихванов и др., 2006), топливно-энергетического (Fe, Sc, Hf, Th, Co, Cr, Sm, Ce, Rb, Ta, Cs) (Шатилов, 2001) и нефтехимического (Br, Sb, Na) (Язиков, 2006) производств. Значительную долю глобальных поступлений загрязняющих элементов-примесей составляют радиоактивные элементы.

В третьей главе «Методика исследований» дается описание методов, с помощью которых проводились исследования: отбор и подготовка проб к анализам, изучение ботанического состава торфа, определение элементов-примесей (методом нейтронно-активационного анализа), изотопов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{210}\text{Pb}$  (методом гамма-спектрометрии), изотопов плутония ( $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ) и  $^{241}\text{Am}$  (методом альфа-спектрометрии), выявление форм нахождения элементов-примесей в торфах и определение возраста торфяных отложений.

Особое внимание уделено выбору объектов исследований. Для опробования были выбраны верховые торфяники Петропавловский Рям, расположенное в 27 км к северу от г. Томска на направлении преобладающей розы ветров от Томск-Северской промышленной агломерации, и Водораздельное, расположенное в 35 км к западу от г. Томска. Для сравнительной характеристики были выбраны несколько месторождений в Томской области, расположенных в районах с различной степенью техногенной нагрузки (рис. 1).



Условные обозначения

- границы административных областей
  - границы южнотаежной болотной зоны по Лисс О.Л.
  - границы Васюганской болотной системы болото и его номер
- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Верховые болота:</li> <li>1-Петропавловский Рям</li> <li>2-Водораздельное</li> <li>3-Кирсановское</li> <li>4-Чистое</li> <li>5-Иксинское</li> <li>6-Васюганское (уч. 5)</li> <li>7-Семиозерье</li> <li>8-Бакчарское</li> <li>9-Полуденовское</li> <li>10-Колпашевское</li> <li>11-Айгарово</li> <li>12-Малая Ича</li> <li>13-Западно-Моисеевское</li> <li>14-Васюганское (уч. 397, р.Демьянка)</li> <li>15-Залесное, р.Кельват-Лонтыньях</li> <li>16-Сосново-Махнинское (Озерное)</li> <li>17-Васюганское (уч. 3)</li> <li>18-Саим</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Низинные болота:</li> <li>19-Песочкинское</li> <li>20-Аркадьёво</li> <li>21-Гусевское</li> <li>22-Клюквенное</li> <li>23-Пуховское</li> <li>24-Суховское</li> <li>25-Ишколь</li> <li>26-Берёзовая грива</li> <li>27-Вилкинское</li> <li>28-р.Ягильях</li> <li>29-р.Егольях</li> <li>30-Васюганское (уч. 1)</li> <li>31-Жарково</li> </ul> |
|--|--|

Рис. 1. Схема расположения объектов исследования.

В четвертой главе «**Основные закономерности распределения и экогеохимия элементов-примесей в торфах Томской области**» дана оценка среднего содержания элементов-примесей в торфах Томской области, описаны закономерности латерального и вертикального распределения элементов, определена геохимическая специализация торфов, описаны ассоциативные связи элементов-примесей в верховых торфяниках.

Приведены данные по оценке возраста отложений исследуемых верховых торфяников, выполнено сравнение характера вертикального распределения элементов-примесей в верховых торфяниках, расположенных в районах с разной степенью техногенной нагрузки. Особое внимание уделено торфяникам, расположенным в районе воздействия Томск-Северской промышленной агломерации.

В пятой главе «**Формы нахождения элементов-примесей в верховых торфах**» охарактеризованы существующие формы нахождения элементов-примесей в природной среде, приведены данные по содержанию элементов-примесей в компонентах группового состава верхового торфа, выполнены расчеты баланса элементов-примесей и проведен анализ этих данных.

В **Заключении** приведены основные выводы исследований.

## **ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

**ПОЛОЖЕНИЕ 1. Оценено среднее содержание элементов-примесей в торфах Томской области. Установлено, что торфа Томской области геохимически специализированы на Au, Sb, Br, Ba, Co, Cr. Выполненные оценки средних содержаний элементов-примесей в верховом торфе позволяют рассматривать их как фоновый уровень при изучении изменения состава атмосферных выпадений с использованием верхового торфа как индикатора загрязнения окружающей среды.**

Средние содержания рассчитаны нами для широкого спектра элементов-примесей (табл. 1). Впервые для региона получены достоверные оценки среднего содержания 25 элементов-примесей, базирующиеся на представительном геохимическом материале (более 2000 проб из 31 одного торфяного месторождения). Использование методики оценки среднего содержания как средневзвешенного (Ткачев, Юдович, 1975) позволило нам получить надежные оценки среднего содержания элементов-примесей в торфах Томской области. Полученные оценки среднего содержания для основной группы элементов близки к более ранним оценкам В. К. Бернатониса (1990) и В. С. Архипова (1994), Л. И. Инишевой (1995), но отличаются от данных В. Г. Матухиной и др. (2003), Д. В. Московченко (2006). Различие с данными В. Г. Матухиной и др. обусловлено тем, что для расчета среднего содержания элементов ими использованы торфяники, расположенные вблизи горно-складчатого обрамления. В этом случае формируются торфа, обогащенные элементами-примесями. Наиболее близки наши оценки средних содержаний

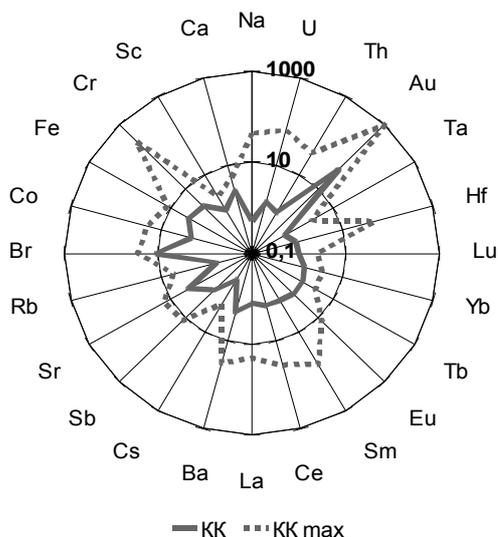
элементов-примесей к опубликованным ранее данным С. И. Арбузова (2005). Однако в последнем случае расчет среднего выполнен лишь для группы редких металлов, а в настоящей работе оценены содержания 25 элементов-примесей.

Таблица 1

**Средние содержания элементов-примесей в изученных торфах Томской области, мг/кг**

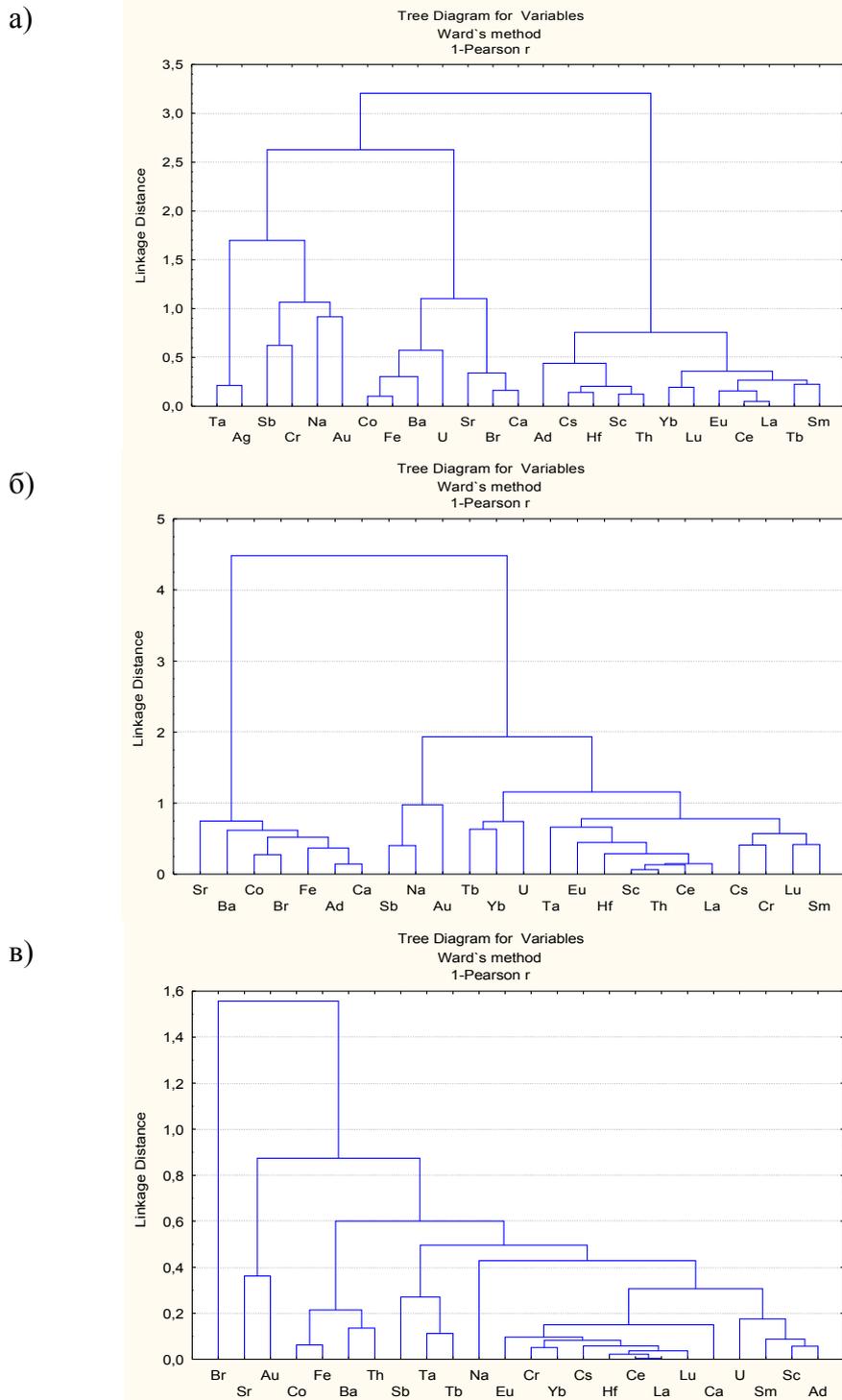
Элемент	Верховой торф (1441 проба)	Низинный торф (611 проб)	Торф в целом (2052 пробы)	Элемент	Верховой торф (1441 проба)	Низинный торф (611 проб)	Торф в целом (2052 пробы)
Na, %	0,037±0,006	0,066±0,014	0,049±0,011	La	1,6±0,4	5,0±0,9	3,0±0,6
Ca, %	0,57±0,05	2,7±0,6	1,4±0,18	Ce	3,8±0,8	8,8±1,2	5,8±0,9
Sc	0,56±0,06	1,4±0,23	0,88±0,17	Sm	0,40±0,08	0,96±0,14	0,62±0,1
<b>Cr</b>	<b>11,6±3,3</b>	<b>13,6±3,0</b>	<b>12,4±2,8</b>	Eu	0,08±0,02	0,19±0,04	0,12±0,02
Fe, %	0,43±0,12	1,7±0,4	0,93±0,13	Tb	0,040±0,005	0,15±0,07	0,085±0,01
Co	1,5±0,2	3,5±0,5	2,3±0,2	Yb	0,12±0,01	0,33±0,15	0,20±0,03
<b>Br</b>	<b>17,7±3,7</b>	<b>61,0±18,3</b>	<b>35,0±2,6</b>	Lu	0,019±0,001	0,05±0,04	0,032±0,005
Rb	1,7±0,2	7,8±2,1	4,1±1,4	Hf	0,17±0,02	0,40±0,08	0,26±0,07
<b>Sr</b>	<b>42±19</b>	<b>120±66</b>	<b>73,0±7,2</b>	Ta	0,015±0,003	0,094±0,043	0,046±0,01
Ag	0,028±0,009	0,10±0,02	0,058±0,02	<b>Au</b>	<b>0,019±0,011</b>	<b>0,017±0,012</b>	<b>0,018±0,003</b>
<b>Sb</b>	<b>0,11±0,02</b>	<b>0,14±0,03</b>	<b>0,12±0,03</b>	Th	0,45±0,08	0,87±0,16	0,61±0,1
Cs	0,14±0,02	0,44±0,09	0,26±0,06	U	0,31±0,08	0,46±0,16	0,31±0,08
<b>Ba</b>	<b>37,7±6,6</b>	<b>106±26</b>	<b>65,2±11,0</b>	Ad, %	3,2±0,3	13,4±1,4	7,3±0,9

Установлено, что в целом торфяники Томской области характеризуются избирательным накоплением Au, Br, Sb, Ba, Sr, Cr. Геохимическую специализацию изученных торфов хорошо отражает диаграмма, построенная по коэффициентам концентрации элементов по отношению к их кларкам для осадочных пород (рис. 2).



**Рис. 2.** Кларки концентрации элементов-примесей в золе торфов Томской области по отношению к их среднему содержанию в осадочных породах, по Н. А. Григорьеву (2003) (KK – кларк концентрации, KKmax – кларк концентрации, рассчитанный по максимальному содержанию элемента в золе торфа).

Выявлены ассоциации элементов-примесей в изученных верховых торфяниках (рис. 3). Установлено, что Cs, Hf, Sc, Th и лантаноиды имеют корреляционную зависимость с зольностью торфов (рис. 3а), что указывает на их связь с повышенной пылевой нагрузкой природного или техногенного происхождения.



**Рис. 3.** Ассоциативные связи элементов-примесей в верховых торфяниках Томской области. а) Данные по всем исследуемым торфяникам, б) торфяник Малая Ича (вне зоны техногенной нагрузки), в) торфяник Петропавловский Рям (в зоне техногенной нагрузки).

Другие элементы (Au, U, Ca, Br, Sb, Fe, Co, Na) не имеют значимой корреляционной связи с зольностью торфов и накапливаются в них различными путями, в том числе и биогенным. При сравнении геохимического спектра верховых торфов из фонового района (рис. 3б) и из района с высокой степенью антропогенной нагрузки (рис. 3в) отмечаются совершенно разные ассоциативные связи элементов-примесей.

Значительное количество элементов-примесей в торфянике с высокой степенью антропогенной нагрузки имеет корреляционную зависимость с зольностью торфа, что указывает на их поступление с пылью (рис. 3в).

**ПОЛОЖЕНИЕ 2. Выявлена латеральная и вертикальная зональность распределения элементов-примесей в верховых торфах Томской области. В латеральном распределении элементов-примесей в верховых торфах установлена основная тенденция увеличения содержаний Na, Cr, U и лантаноидов с юга на север, Cs, Hf и Sc – на северо-запад, Ca – с севера на юг. Установлено, что распределение элементов-примесей в вертикальном профиле торфяных залежей верхового типа, расположенных в зоне влияния разнопрофильных производств гг. Томска и Северска, отражает специализацию этих производств и динамику загрязнения атмосферы.**

По средним содержаниям элементов-примесей по всей глубине торфяных залежей выявлена зональность в латеральном распределении элементов-примесей. В верховых торфах Томской области средние содержания таких элементов как Na, Cr, U и лантаноидов увеличиваются с юга на север, Cs, Sc и Hf – с юго-востока на северо-запад. Для Ca характерно уменьшение его содержания с юга на север, что обусловлено сочетанием особенностей состава подстилающих отложений и климатическим фактором (рис. 4).

Максимальные концентрации изученных элементов-примесей, за исключением Ca, Sc, Fe, Co, Br, фиксируются в торфах в зоне влияния Томск-Северской промышленной агломерации. Избыточное поступление элементов-примесей в верховые торфяники в этой зоне обусловлено преимущественно техногенными факторами. Особенно ярко это проявляется при построении схематических карт по распределению средних содержаний элементов-примесей в верхних 50 см торфяной залежи.

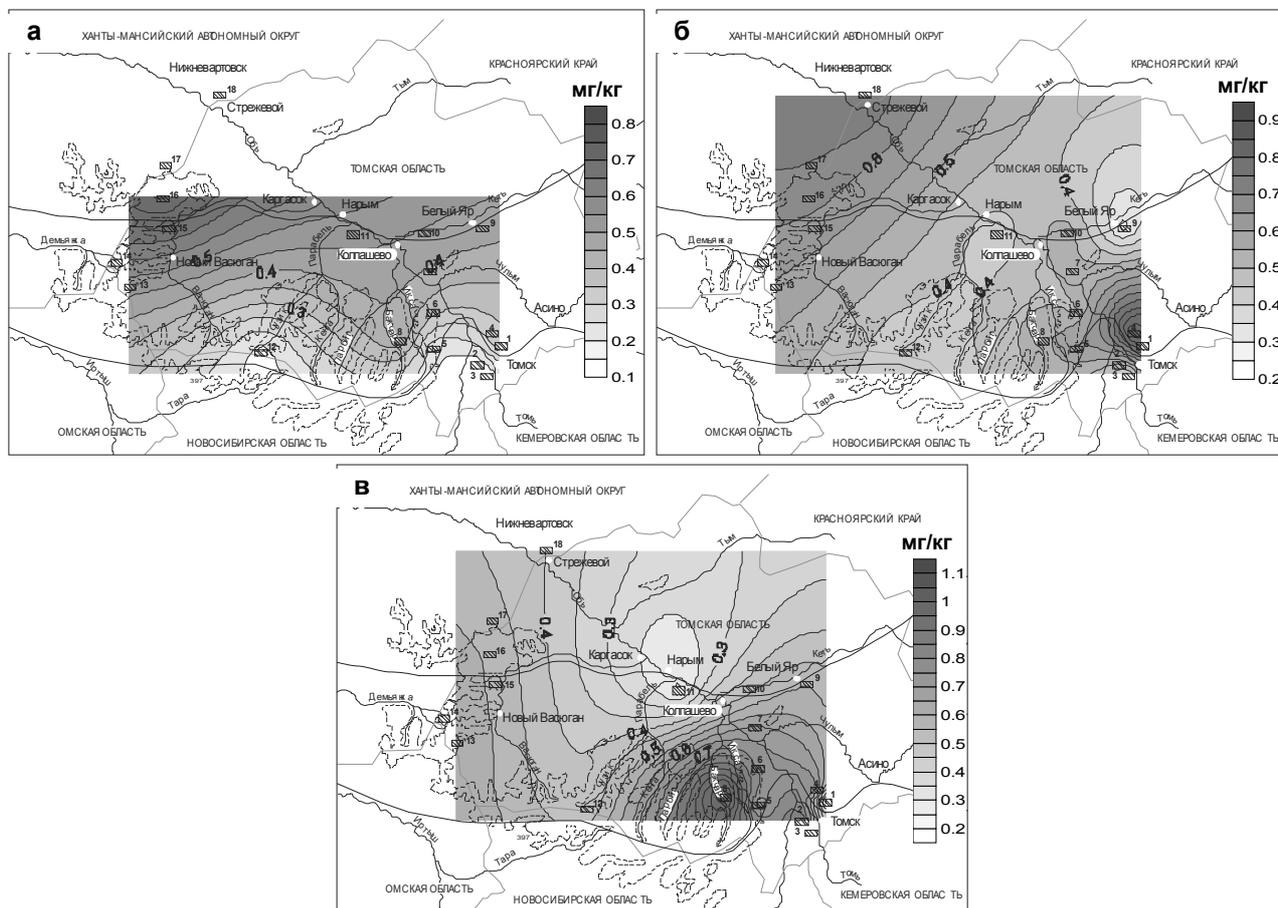
В вертикальном разрезе торфяных залежей отмечается три типа распределения элементов-примесей, которые определяются их расположением относительно источников техногенного загрязнения.

1. В торфяниках из районов с фоновым загрязнением выявлено равномерное распределение элементов-примесей со слабопроявленными аномалиями по глубине торфяной залежи.

2. Для торфяников, расположенных в районах разработки нефтяных месторождений, и торфяников, локализованных в районах с незначительной техногенной нагрузкой, характерен тип слабодифференцированного

распределения элементов-примесей с проявлением слабовыраженных аномалий в верхней части торфяной колонки.

3. В торфянике, расположенном в непосредственной близости от г. Северска в направлении преобладающей розы ветров наблюдается резкодифференцированный тип распределения элементов-примесей с контрастными аномалиями в верхней части залежи.



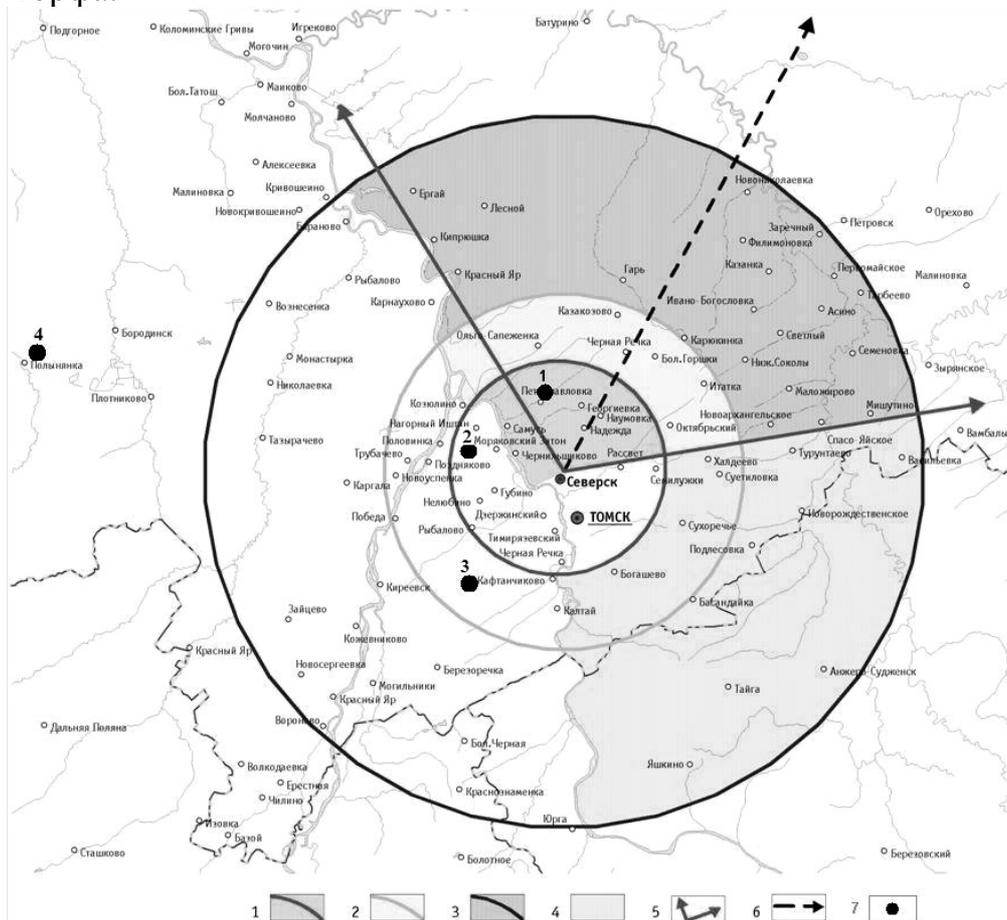
**Рис. 4.** Схемы латерального распределения урана (а), скандия (б) и кальция (в) в верховых торфах Томской области.

В отдельных торфяных массивах установлены повышенные содержания элементов-примесей в глубоких слоях торфа, связанные с изменениями состава области сноса и климата.

Торфяник Петропавловский Рям характеризуется наибольшими содержаниями La, Yb, Th и U, что определяется их высокими содержаниями в верхнем интервале залежи. Можно выделить несколько техногенных причин накопления лантаноидов и радиоактивных элементов в торфянике Петропавловский Рям: общая высокая пылевая нагрузка в районе г. Томска; работа ГРЭС; влияние Сибирского химического комбината (СХК).

Торфяник Петропавловский Рям расположен по преобладающей розе ветров (в северном направлении) от промышленной зоны гг. Томска и Северска, следовательно, идеально подходит для изучения загрязнения окружающей среды. Залежь верхового типа и имеет единственный путь поступления в нее загрязняющих элементов – атмосферный воздух.

Для сравнения приведены данные по трем верховым торфяным месторождениям: Водораздельное, которое расположено в западном направлении от промышленной зоны гг. Томска и Северска, в пределах 30-ти километровой зоны воздействия СХК; Кирсановское – в юго-западном направлении от г. Томска, в пределах 50-ти километровой зоны воздействия СХК; Бакчарское – в северо-западном направлении от г. Томска, за пределами зоны воздействия СХК (рис. 5). Выбор болот определен наличием данных по возрасту торфа.



**Рис. 5.** Схема расположения исследуемых болот относительно Томск-Северской промышленной агломерации. Условные обозначения: 1 – ближняя зона воздействия, 30 км; 2 – средняя зона, 50 км; 3 – дальняя зона, 100 км; 4 – контрольная зона; 5 – основной сектор воздействия СХК; 6 – преобладающее направление ветра; 7 – исследуемые торфяные месторождения: 1) Петропавловский Рям, 2) Водораздельное, 3) Кирсановское, 4) Бакчарское.

При сравнении торфяников, расположенных в районах с разной степенью техногенного воздействия, наблюдается закономерное изменение содержания элементов-примесей в торфах в зависимости от расположения исследуемых объектов. Торфяник Петропавловский Рям подвержен загрязнению в максимальной степени. Торфяное месторождение Водораздельное не попадает в зону активного техногенного воздействия Томск-Северской промышленной агломерации, но находится вблизи нее и также подвергается загрязнению, но в значительно меньшей степени, чем торфяник Петропавловски Рям. Это отражается в накоплении многих элементов-примесей в верхнем слое торфяных

залежей (верхние 25 см залежи Петропавловский Рям и 60 см залежи Водораздельное), отвечающем периоду времени с середины 40-х годов XX века.

Поступление многих элементов в торфяники происходит от сжигания угля: As, Ba, Co, Cr, Sb, Ce, La, U, Rb, Th, Ag. Барий, стронций, рубидий, уран, торий, золото, лантаноиды – характерные элементы, поступающие от сжигания углей Кузнецкого бассейна (Арбузов и др., 2000), которые в основном используются на ГРЭС в г. Северске и г. Томске. Повышенные содержания Sb, Na и Br возможно связаны с работой нефтехимического производства в Северном промышленном узле (Язиков, 2006). Выбросы Сибирского химического комбината характеризуются большим набором загрязняющих элементов-примесей. Кроме радиоактивных элементов, выбросы СХК характеризуются и повышенным содержанием лантаноидов (Рихванов, 1997).

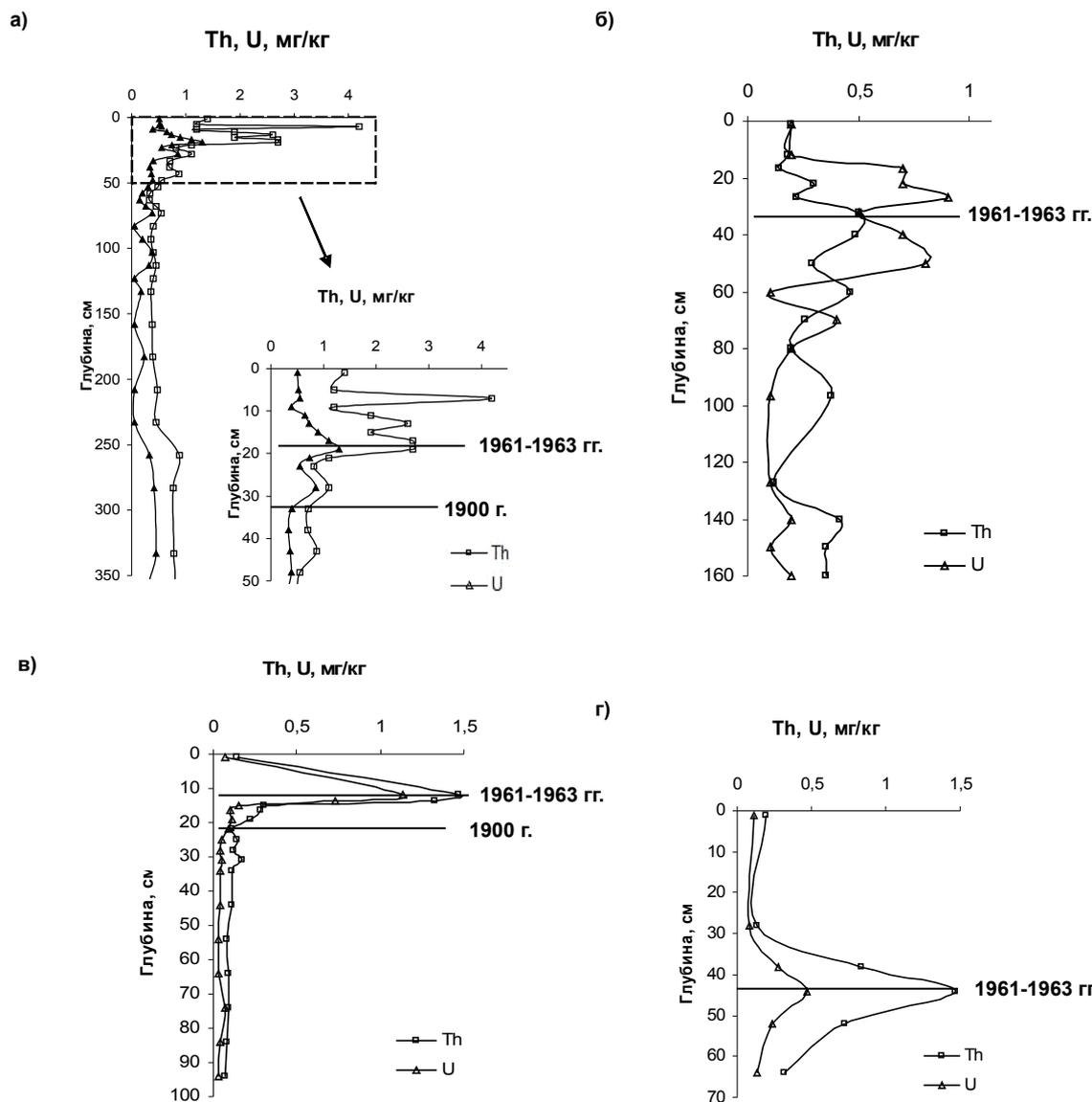
В разрезе торфяных залежей Кирсановское и Бакчарское, которые находятся за пределами активного воздействия промышленной зоны гг. Томска и Северска, не выявлено повышенных содержаний элементов-примесей в приповерхностном слое торфяников, за исключением интервала, соответствующего периоду интенсивных ядерных испытаний в 1961-1963 гг.

В торфянике Петропавловский Рям концентрации большинства элементов начали увеличиваться в послевоенное время, что связано с активным развитием промышленности в этот период. Интервал глубины 5-7 см в распределении радиоактивных элементов фиксирует аварию на СХК в 1993 г. Для всех элементов болота Петропавловский Рям отмечаются пики в интервале глубины 17-19 см, соответствующие периоду интенсивных испытаний ядерного оружия в атмосфере в 1961-1963 гг. Пики этого же периода характерны и для торфяников Кирсановское и Бакчарское. Торфяники Петропавловский Рям и Водораздельное хорошо отражают начало развития промышленности в послевоенное время XX-го века, судя по накоплению Ca, Fe, Cr, Co, Sc, Hf и лантаноидов.

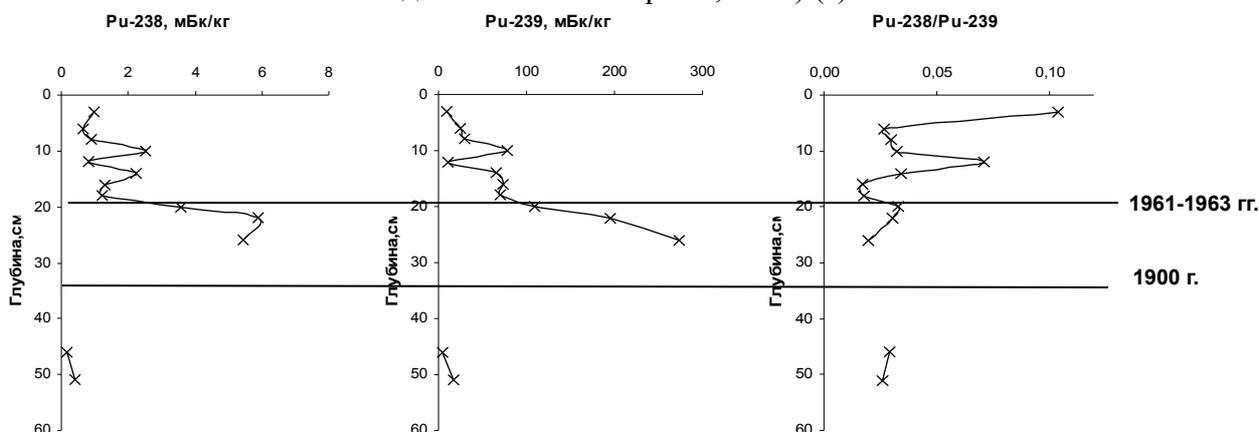
Особое внимание следует обратить на загрязнение приповерхностных частей торфяников естественными радиоактивными элементами в результате сжигания углей на ГРЭС, ТЭЦ, а также деятельности Сибирского химического комбината (рис. 6).

Заметных изменений величины торий-уранового отношения в исследованных торфяниках не установлено. Исключением является торфяная залежь Петропавловский Рям, где концентрация тория сильно возросла по отношению к урану в интервале глубин 7-9 см (конец 80-х – начало 90-х гг.).

Учитывая близкое расположение Сибирского химического комбината к основному исследуемому объекту – торфянику Петропавловский Рям, было определено содержание в торфе плутония и америция. По распределению плутония в торфянике отчетливо выделяются несколько основных периодов радиоактивного загрязнения территории вблизи г. Томска: 1961-1963 гг. – период интенсивных ядерных испытаний (19-21 см) и 1993 г. – крупная авария на СХК (7-9 см), что подтверждает также отношение  $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  (рис. 7).



**Рис. 6.** Распределение Th и U в вертикальном профиле торфяников Петропавловский рям (а), Водораздельное (б), Кирсановское (по данным В. М. Гавшина, 2003) (в), Бакчарское (по данным В. А. Боброва, 2006) (г).



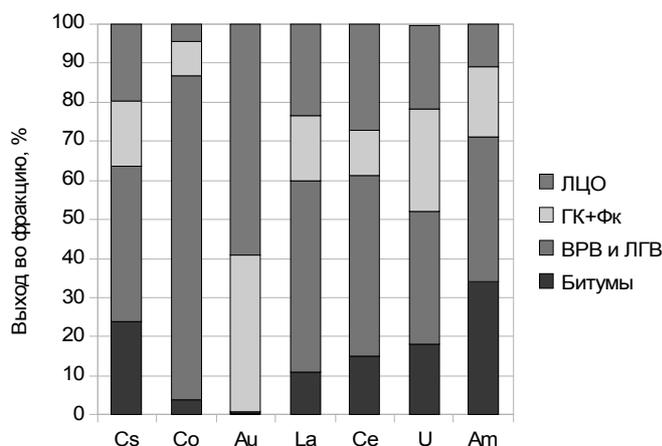
**Рис. 7.** Распределение изотопов плутония в профиле торфяника Петропавловский Рям.

Значение  $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ , равное 0,12 в верхнем интервале торфяника свидетельствует о снижении масштабов ядерного производства. В распределении плутония отмечается еще один пик, соответствующий второй половине 70-х гг. (13-15 см). В этом же интервале отмечаются пики урана и радиоактивного цезия. Выброс урана и трансурановых элементов в этот период был зафиксирован в г. Томске и по годичным кольцам деревьев (Рихванов и др., 2002).

**ПОЛОЖЕНИЕ 3.** В верховых торфах основная масса элементов-примесей находится в ионообменной форме и в форме органических соединений. Для лантаноидов, Cs, Co, U главное значение имеет ионообменная форма, для Am – ионообменная и органическая, для Au – органическая.

Были исследованы формы нахождения 7 элементов из 25 изученных в верховом торфе: Co, La, Ce, Cs, Au, U, Am. Выделение компонентов органической массы торфа проводилось с использованием проб верховых торфов по методу Инсторфа. Путем определения содержаний элементов-примесей в компонентах органической массы торфа были установлены возможные формы их нахождения.

Средние содержания элементов-примесей в компонентах группового состава органической массы торфа представлены на рис. 8.



**Рис. 8.** Связь элементов-примесей с компонентами органической массы торфа (средние значения; количество проб: Cs - 4, Co - 6, Au - 1, La - 7, Ce - 7, U - 4, Am - 1). ЛЦО – лигнино-целлюлозный остаток, ГК+ФК – гуминовые и фульфо-кислоты, ВРВ и ЛГВ – водорастворимые и легкогидролизуемые вещества.

Основная доля цезия в торфах связана с водорастворимыми и легкогидролизуемыми веществами и гумусовыми кислотами. Следовательно, цезий в торфе находится в ионообменной форме, а также связан с гумусовыми веществами. Тот факт, что часть цезия связывается с гуминовыми кислотами, подтверждается и другими исследователями (Lofts, 2002; Арбузов, 2005). С.И. Арбузов (2005) отметил, что с гуминовыми веществами в торфе связано от 24 до 32 % цезия. Гуминовые кислоты не являются ни носителями, ни

концентраторами цезия, комплексы цезия с ними играют подчиненную роль в его накоплении. Содержание цезия в лигнино-целлюлозном остатке выше, чем в исходном торфе. Следовательно, нерастворимый остаток является концентратором Cs, хотя и не является основным его носителем.

Кобальт почти полностью связан с водорастворимыми и легкогидролизуемыми веществами, на долю которых приходится до 88 % от его количества. С водорастворимыми веществами из торфа извлекаются элементы, находящиеся в нем в форме свободных водорастворимых ионов, физически или химически сорбированные на органическом веществе, или в форме водорастворимых органо-минеральных кислот (например, аминокислот). Вероятно, кобальт в торфе находится в ионообменной форме и поэтому легко переходит в раствор при обработке пробы торфа слабым раствором кислоты.

Проведенные нами исследования показали, что золото в торфяниках концентрируется в органическом веществе, преимущественно за счет гумусовых кислот и органических веществ, содержащихся в «нейтральной части» негидролизуемого остатка. Золото имеет прочную связь с органическим веществом по типу хелатных комплексов или металлоорганических соединений; в негидролизуемом остатке металл может находиться как в минеральной форме, так и в виде прочных металлоорганических и комплексных соединений с органическим веществом.

Для лантаноидов также характерен максимальный выход во фракции водорастворимых и легкогидролизуемых веществ, что предполагает нахождение лантаноидов в торфе в сорбированном состоянии. Во фракции водорастворимых и легкогидролизуемых веществ лантаноиды могут находиться и в виде комплексных органических соединений, таких как аминокислоты. Они могут присутствовать в торфе в сорбированном состоянии на глинистых минералах и органическом веществе, в ионообменной форме, характеризующейся слабыми связями элемента с органическим веществом, в составе комплексных низкомолекулярных органических соединений, а также в виде сульфатов, карбонатов и других частично разрушаемых при кислотной обработке минералов (Арбузов, 2005).

Значительное количество урана в изученных пробах сконцентрировано в водорастворимых и легкогидролизуемых веществах и гумусовых кислотах (табл. 2). А. В. Коченовым и др. (1965) также было отмечено, что в торфе много водорастворимого урана. Значительная часть урана остается также в негидролизуемом остатке торфа. Основным фактором концентрирования урана является его сорбция на органическом веществе, металл концентрируется в нем как в виде прочных комплексных гуматов, так и в сорбированном виде.

Америций в торфе также концентрируется в водорастворимых и легкогидролизуемых веществах (табл. 3). Значительная доля америция приходится и на гумусовые кислоты. Следовательно, для америция, как и для урана, характерна ионообменная форма, и, кроме этого, часть его связана с органическим веществом.

Таблица 2

## Распределение урана в компонентах группового состава верховых торфов

Групповой состав торфа	Выход фракций, %	С, мг/кг	Выход во фракцию, %
Месторождение Айгарово (проба из нижней части разреза)			
Исходный торф	100	0,35	100
Битумы	5,3	0,6	9
ВРВ и ЛГВ	34,3	0,6	59
Гуминовые кислоты	18,6	0,52	16
Фульвокислоты	23,2	0,31	
Лигнино-целлюлозный остаток	17,6	0,61	16
Месторождение Айгарово (проба из верхней части разреза)			
Исходный торф	100	0,26	100
Битумы	3,3	3,2	40
ВРВ и ЛГВ	53,5	0,59	4
Гуминовые кислоты	9,4	0,51	18
Фульвокислоты	18,1	0,16	11
Лигнино-целлюлозный остаток	16,0	0,43	26
Месторождение Васюганское			
Исходный торф	100	0,52	100
Битумы	5	0,39	4
ВРВ и ЛГВ	28	0,75	41
Гуминовые кислоты	34,5	0,63	41
Фульвокислоты	19,1	0,04	2
Лигнино-целлюлозный остаток	16,8	0,36	12

Примечание: С – содержание элемента.

Таблица 3

## Распределение америция-241 в компонентах группового состава торфа болота Петропавловский Рям

Групповой состав торфа	Выход фракций, %	Am-241	
		Бк/кг	Выход во фракцию, %
Исходный торф	100	4,3	100
Битумы	2,1	70,3	34
ВРВ и ЛГВ	53,5	3	37
Гуминовые кислоты	21,3	3,6	18
Фульвокислоты			
Лигнино-целлюлозный остаток	24,1	2	11

Для урана и трансурановых элементов вывод о рассеянной форме нахождения в торфах подтверждается результатами  $f$ -радиографических исследований. Известно, что поступление значительной доли трансурановых элементов в окружающую среду в результате техногенных аварий происходит в виде «горячих частиц». Отсутствие «звезд» на детекторе при  $f$ -радиографическом исследовании торфов, обогащенных Pu и Am (Gauthier-Lafaye et al., 2008), позволяет предположить, что в «агрессивной» среде торфяника происходит разрушение «горячих частиц» и трансурановые элементы равномерно распределяются в торфе. При этом, для пробы такого торфа, распределение треков на детекторе имеет повышенную плотность и равномерный характер.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Верховые торфяники, широко распространенные на территории России, особенно на территории Западной Сибири, в том числе и в Томской области, являются удобными природными планшетами для оценки аэрогенного загрязнения окружающей среды и его динамики в течение времени. Особое место в накоплении элементов-примесей в торфяниках занимают сфагновые мхи, являющиеся основным компонентом растительного сообщества верховых болот, так как обладают способностью удерживать элементы-примеси “in situ”. Хотя некоторые химические элементы способны мигрировать в торфяной залежи в зависимости от их химических свойств и форм нахождения, основная часть их все-таки сохраняется в торфе с момента выпадения из атмосферы на поверхность болота.

Исследование элементов-примесей в верховых торфах относится к перспективным методам оценки изменения геохимического состава биосферы, важным преимуществом которого является возможность реставрации изменения состава пыле-аэрозольных выпадений при отсутствии многолетних наблюдений.

Проведенные исследования закономерностей распределения элементов-примесей в торфяниках Томской области позволили установить, что торфяники Томской области, по сравнению с торфами европейской части России, характеризуются повышенными содержаниями элементов группы железа (Fe, Co, Cr), а также сурьмы и золота. При изучении латерального распределения элементов-примесей в торфяниках Томской области установлено, что содержания Na, Cr, U и лантаноидов увеличиваются в направлении с юга на север, Cs, Sc, Hf – с юго-востока на северо-запад. Изменение области питания, минерализации грунтовых и поверхностных вод в торфяниках проявляется в уменьшении содержания Ca в направлении с юга на север.

В вертикальном профиле торфяных залежей установлено три типа распределения элементов-примесей, которые определяются их расположением относительно источников техногенного загрязнения. Тип равномерного распределения элементов со слабо проявленными их аномалиями в разрезе торфяной залежи характерен для месторождений, наиболее удаленных от источников техногенного загрязнения. Тип резкодифференцированного распределения элементов с контрастными аномалиями в верхней части залежи проявляется в торфяниках, расположенных в непосредственной близости от гг. Томска и Северска в направлении преобладающей розы ветров. Для торфяников, расположенных в районах разработки нефтяных месторождений, характерен тип слабодифференцированного распределения элементов с проявлением слабовыраженных аномалий в верхней части торфяной колонки.

Изучение торфяников, расположенных на разном расстоянии относительно мощного источника техногенного воздействия – Томск-Северской промышленной агломерации, позволило оценить влияние различных производств на окружающую среду. В торфяниках, расположенных в районах с

низким уровнем развития производственно-хозяйственной деятельности, проявляется накопление элементов-примесей из-за глобального загрязнения атмосферы, характерного для начала 60-х годов XX-го столетия.

Загрязнение в зоне воздействия Томск-Северской промышленной агломерации выражается в повышенных концентрациях многих элементов в верхнем интервале торфяника, сформировавшегося за последние 70 лет. Превышения средних содержаний некоторых элементов-примесей в торфе достигают 5 раз. Основными производствами-загрязнителями являются: теплоэнергетические предприятия – накопление Fe, Cr, Sc, Co, Rb, Ba, Sb, As, Th, U, лантаноидов; предприятия ядерно-топливного цикла – накопление лантаноидов и радиоактивных элементов (U, Th, Pu, Cs<sup>137</sup> и др.); нефтехимия – накопление Na, Br, Sb.

Исследование распределения элементов-примесей по глубине торфяных залежей позволило проследить динамику геохимического состава окружающей среды во времени. Значительную роль в изменении геохимического состава торфяников за последние 60 лет вблизи больших городов (г. Томск, г. Северск) сыграло антропогенное воздействие.

Изучение компонентов группового состава торфа показало, что золото в верховом торфе прочно связано с органическим веществом, основная масса Co и лантаноидов находится в подвижной рассеянной форме в составе водорастворимой фракции, Cs, U и Am наблюдаются как в водорастворимой фракции, так и в гумусовых кислотах.

Исследования показывают, что в торфяниках происходит изменение форм нахождения элементов-примесей. Поступающий с пылью кластогенный материал разрушается и элементы-примеси концентрируются преимущественно в ионообменной форме и в форме органических соединений. Это приводит к частичному перераспределению элементов, обуславливая формирование менее контрастных пиков на графиках их вертикального распределения, чем следовало ожидать, исходя из выбросов плутония и других техногенных загрязнителей.

#### **Список опубликованных работ по теме диссертации:**

1. Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Барановская Н.В., **Беляева А.М. (Межибор А.М.)**, Жорняк Л.В., Таловская А.В., Денисова О.А., Сухих Ю.И. Состояние компонентов природной среды Томской области по данным эколого-геохимического мониторинга и здоровье население // Безопасность жизнедеятельности. 2008. – № 1. – С. 29-37.

2. Рихванов Л.П., Арбузов С.И., Барановская Н.В., Волостнов А.В., Архангельская Т.А., **Межибор А.М.**, Берчук В.Ю., Жорняк Л.В., Замятина Ю.Л., Иванов А.Ю., Таловская А.В., Шатилова С.С., Язиков Е.Г. Радиоактивные элементы в окружающей среде // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 128-136.

3. Рихванов Л.П., Архангельская Т.А., Замятина Ю.Л., **Межибор А.М.**, Жорняк Л.В., Иванов А.В., Берчук В.Ю., Робертус Ю.В., Таловская А.В. Исследование изменения геохимических свойств биосферы с использованием последовательно образующихся природных образований // Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды: Материалы Всероссийской научной конференции (с участием иностранных ученых): в 3-х т., 24-30 сент. 2007. – Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2007. – С. 223-227.
4. **Беляева А. М.**, Рихванов Л. П., Арбузов С. И. Верховой торф как показатель загрязнения атмосферного воздуха в Томской области // Материалы медунар. науч. конф. «Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых», 14-16 марта 2007 г. – Минск, 2007. – С. 254-257.
5. Арбузов С. И., Рихванов Л. П., Волостнов А. В., **Межибор А. М.** Индикаторная роль торфа и угля в оценке геохимической специализации территории // Материалы медунар. науч. конф. «Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых», 14-16 марта 2007 г. – Минск, 2007. – С. 254-257.
6. Рихванов Л. П., Арбузов С. И., Архангельская Т. А., Барановская Н. В., **Беляева А. М. (Межибор А.М.)**, Волостнов А. В., Язиков Е. Г. Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2006. – № 2 (2). – С. 41-51.
7. **Беляева А.М. (Межибор А.М.)**, Рихванов Л.П., Арбузов С.И. Исследования геохимического состава верхового торфа как метод мониторинга окружающей среды // Материалы третьей всероссийской конференции молодых ученых «Фундаментальные проблемы новых технологий в 3-м тысячелетии», 3-6 марта 2006 г. – Томск, 2006. – С. 631-634.
8. **Беляева А.М. (Межибор А.М.)**. Цезий в верховых торфах юга Томской области // Проблемы геологии и освоения недр: Труды Десятого международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 100-летию первого выпуска сибирских инженеров и 110-летию основания Томского политехнического университета, 3-7 апр. 2006. – Томск: Изд. ТПУ, 2006. – С. 500-502.
9. Рихванов Л. П., Архангельская Т. А., **Беляева А. М. (Межибор А.М.)**, Жорняк Л. В., Фетисова Ю. Л., Шатилов А. Ю. Ретроспективная оценка поступлений радиоактивных веществ в природную среду // Труды медунар. конф. «Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий», Москва, 5-6 декабря 2005 г. – СПб.: Гидрометеиздат, 2006. – С. 325-331.
10. **Беляева А.М. (Межибор А.М.)**, Рихванов Л.П., Арбузов С.И., Судыко А.Ф. Микроэлементный состав верхового торфа как индикатор техногенного воздействия // Материалы пятой международной биогеохимической школы «Актуальные проблемы геохимической экологии», 12-15 сентября 2005 г. – Семипалатинск, 2005. – С. 415-417.

11. **Беляева А.М. (Межибор А.М.).** Предварительные данные об Уровнях накопления элементов в верховых торфяниках юга Томской области // Материалы четвертой научной школы «Болота и биосфера», 12-15 сен. 2005 г. – Томск, 2005. – С.130-133.
12. **Беляева А.М. (Межибор А.М.).** Об использовании торфяников для ретроспективных наблюдений за изменением геохимического состава окружающей среды // Материалы восьмого научного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск, 2004. – С. 702-704.
13. F. Gauthier-Lafaye, L. Pourcelot, J. Eikenberg, H. Beer, G. Le Roux, L.P. Rikhvanov, P. Stille, Ph. Renaud and **A. Mezhabor**. Radioisotope contaminations from releases of the Tomsk–Seversk nuclear facility (Siberia, Russia) // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2008. – V. 99. – P. 680-693.
14. S.I. Arbuzov, L.P. Rikhvanov, S.G. Maslov, V.S. Arhipov, **A.M. Belyaeva (Mezhabor A.M.)**. Anomalous gold contents in brown coals and peat in the south-eastern region of the Western-Siberian platform // *International journal of coal geology*. – 2006. – V. 68. – P. 127-134.
15. Baranovskaya N.V., Rikhvanov L.P., Yazikov E.G., Iankovitch E.P., **Belyaeva A.M. (Mezhabor A.M.)**/ Concentrations and indicated element ratios in environments and human tissues // *Proceedings of 5<sup>th</sup> international symposium on trace elements in human: new perspectives*, October 13-15<sup>th</sup> 2005. – Athens, Greece, 2005. – P. 683-694.