

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

На правах рукописи

ИВАНОВ АНДРЕЙ ЮРЬЕВИЧ

**ЭКОГЕОХИМИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛЫХ ВОДОЁМОВ ЮГА
ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук,
профессор Арбузов С.И.

Томск – 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ.....	12
ГЛАВА 2. КРАТКИЙ ОЧЕРК ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ	26
2.1. Природно-климатические условия Томской области.....	26
2.2. Геологическое строение Томской области.....	30
2.3. Полезные ископаемые и перспективы минерально-сырьевой базы	40
2.4. Техногенная нагрузка	48
ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ.....	50
3.1. Опробование и пробоподготовка.....	50
3.2. Аналитические методы определения химических элементов в донных отложениях	53
3.3. Математическая обработка результатов	59
ГЛАВА 4. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОСАДКОВ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ ЮГА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ	61
ГЛАВА 5. СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ ЮГА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ	67
5.1. Основные закономерности распределения химических элементов в донных осадках.....	67
5.2. Латеральная изменчивость.....	79
ГЛАВА 6. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПРОФИЛЕ ДОННЫХ ОСАДКОВ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ ТОМСКОГО РАЙОНА, ПОДВЕРЖЕННЫХ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	98
ГЛАВА 7. U И TH В ДОННЫХ ОСАДКАХ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ ЮГА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ	117
7.1. Радиогеохимические особенности Осиновско – Бабарыкинской аномальной зоны	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	134
ЛИТЕРАТУРА.....	136

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы.

Донные отложения являются важнейшим компонентом аквасистемы, во многом определяющим ее состояние. Обладая хорошей сорбционной емкостью, донные отложения способны накапливать загрязняющие вещества. Одной из важнейших характеристик, определяющей донные отложения, является их вещественный состав. Поэтому изучение антропогенных и природных факторов, определяющих пространственное распределение химических элементов, способность переходить в природные воды, доступность их растениям, актуально (Даувальтер, 2002; Хаджеева 2007; Страховенко, 2011; Удачин, 2012). Донные отложения малых водоемов и озер являются индикаторами для изучения загрязнителей водных объектов. (Alemdaroglu, 2003; Heyvaert, 2000). Они могут быть загрязнены токсичными элементами, поступающими разными путями, при этом тяжелые металлы представляют наибольший интерес (Engstrom et al., 1984). Накопление тяжелых металлов в донных отложениях малых водоемов может идти от атмосферных осадков, от сточных вод, впадающих рек, несущих химикаты от сельскохозяйственной, индустриальной и городской деятельности. (Park, Kang, 2010).

Континентальные водоемы являются неотъемлемой частью большинства ландшафтных зон Сибири, в том числе и Томской области. Донные осадки малых водоемов служат своеобразными маркерами геохимических процессов и являются аккумулятивной единицей ландшафта, происходящих как в самих водоемах, так и на их водосборных площадях. Имеется большое количество классификаций донных осадков водоемов, основанных на различных факторах. Многие исследователи подчеркивают, что в водоеме одновременно может происходить накопление разнообразных осадков. А в озерах находящихся в различных ландшафтных условиях и зонах характерны определенные типы

осадкообразования (Поползин, 1967; Дербаква, 1979; Сает, 1990; Кудашев, 2004; Страховенко, 2006).

Одной из главной проблем современности является изучение процессов, происходящих в результате обширного антропогенного воздействия на водоемы.

Изучение донных осадков малых водоемов является одним из перспективных направлений современной геохимии экосистем. Изучение донных осадков позволяет изучать не только динамику изменения химического состава окружающей среды за многовековой период, но являться маркером наиболее интенсивного поступления химических элементов в водоем.

В непосредственной близости от города Томска, в центральной части Томской области расположен Сибирский химический комбинат (СХК). СХК работает уже более 65 лет, и до недавнего прошлого вся его деятельность проходила в полном режиме секретности. В этой связи актуальным представляется вопрос о степени влияния СХК на состояние здоровья населения и окружающую среду (Рихванов, 1997).

Цель работы заключается в определении специфики химического состава донных осадков малых водоемов юга Томской области, и их роли в качестве индикаторов геохимических изменений в верхней части литосферы, для выявления природного или техногенного факторов в формировании их геохимической специализации.

Задачи исследований:

1. Оценить содержание химических элементов в донных осадках малых водоемов юга Томской области.
2. Изучить особенности вертикального и латерального распределения химических элементов в донных осадках малых водоемов юга Томской области.
3. Оценить роль техногенного фактора в формировании геохимической специализации донных осадков юга Томской области.

4. Выявить периоды интенсивного антропогенного воздействия на окружающую среду.
5. Оценить динамику изменения состояния окружающей среды по геохимическим данным.

Фактический материал

Фактическим материалом для написания диссертации послужили данные автора по изучению донных отложений малых водоемов юга Томской области, собранный в период с 2005 по 2018гг. А также материал, предоставленный специалистами кафедры химической технологии топлива и химической кибернетики Томского политехнического университета (Архипов В.С.).

Методы исследований

Для количественного определения химических элементов в донных осадках, применялись современные ядерно-физические методы анализа. Основным методом исследований выбран многоэлементный инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА), выполненный в учебно-научной лаборатории ядерно-геохимических исследований (кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета (аналитические исследования Судыко А.Ф. и Богутская Л.В.) (618 проб).

Электронно-микроскопические исследования проводились на базе учебно-научной лаборатории электронно-оптической диагностики Международного инновационного образовательного центра (МИНОЦ) «Урановая геология» кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета (аналитик С.С. Ильенок) (10 проб, 123 измерения).

Определение содержание ртути в донных отложениях проводили на анализаторе ртути РА 915+ на базе учебно-научной лаборатории электроннооптической диагностики МИНОЦ «Урановая геология» кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета (выполнено под руководством Н.А. Осиповой и Е.А. Филимоненко) (436 проб).

Определение удельной активности америция проводилось методом γ спектрометрии по стандартизированной методике в Институте геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН (аналитические исследования М.С. Мельгунов) (20 проб).

Для определения минерального состава донных отложений применялась рентгеновская дифрактометрия. Исследования были выполнены на базе учебно-научной лаборатории электронно-оптической диагностики МИНОЦ «Урановая геология» кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета (выполнено под руководством Д.Г. Усольцева и Б.Р. Соктоева) (7 проб).

В процессе выполнения работы были изучены пробы из 46 водоемов Томского района, 50 водоемов Кожевниковского, 59 водоемов Кривошеинского, 40 водоемов Зырянского, 6 водоемов Бакчарского, 68 водоемов Асиновского и 30 водоемов Шегарского районов. Всего изучено 618 проб из 299 водоемов (рисунок 1). Глубина исследуемых водоемов составляла от 100 до 500 см. Мощность отобранных донных отложений в различных водоемах изменяется от 0,2 м до 1,0 м.

Донные отложения малых водоемов юга Томской области имеют состав от торфянистых и сапропелевых до чисто глинистых с различными вариациями соотношения этих составляющих.

Научная новизна.

1. Оценены содержания микроэлементов в различных типах донных отложений (терригенные, карбонатные и торфянистые) в водоемах юга Томской области.
2. Впервые выполнена оценка среднего содержания химических элементов в донных отложениях региона.

3. Установлены три типа закономерностей распределения химических элементов в вертикальной колонке донных осадков малых водоемов и латеральная изменчивость на территории юга Томской области.

4. Определены основные источники поступления загрязняющих компонентов в малые водоемы юга Томской области.

5. Установлена специализированная радиогеохимическая зона с высоким содержанием урана.

6. Выявлены периоды интенсивного антропогенного воздействия на окружающую среду.



Рисунок 1 – Схематическая карта распределения объектов опробования на территории юга Томской области

Практическая значимость.

Практическая значимость результатов заключается в возможности использования данных, полученных в результате исследования вертикальных

профилей донных осадков, для изучения геохимической трансформации биосферы в результате производственной деятельности человека в тех районах, которые связаны с высокой степенью антропогенного воздействия, например СХК.

Материалы работ частично использовались в подготовке раздела учебного пособия «Геохимия радиоактивных элементов», обучающихся по магистерской программе «Геология, поиски и разведка руд редких и радиоактивных элементов», в подготовке курсов «Геоэкологический мониторинг», «Геология и геохимия горючих полезных ископаемых».

Основные защищаемые положения:

1. Донные отложения водоемов юга Томской области характеризуются геохимической специализацией на Sc, Cr, Fe, Co, Sb, Ba, РЗЭ, Hf, Hg, Au и U. Выполненные оценки средних содержаний в различных типах донных отложений позволяют рассматривать их как региональный фоновый уровень для оценки загрязнения окружающей среды.

2. Вертикальное распределение в колонке донных отложений малых водоемов Томского района позволило выделить типы нормального, слабо дифференцированного с проявлением слабовыраженных аномалий и резко дифференцированного распределения с контрастными аномалиями. Резко дифференцированный тип распределения элементов характерен для районов находящихся в зоне влияния СХК.

3. Донные отложения малых водоемов юга Томской области характеризуются околочларковыми содержаниями урана и тория. На этом фоне выделяется аномальная субмеридиональная Осиновско-Бабарыкинская радиогеохимически специализированная зона с высоким содержанием урана и пониженным торий-урановом отношением. Ее формирование обусловлено геолого-геохимическими особенностями территории.

Апробация работы.

Основные результаты исследования были обсуждены на межвузовских и международных научных и научно-практических конференциях: научном симпозиуме студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2006, 2009, гг.); всероссийской конференции с иностранным участием «Геохимия и рудообразование радиоактивных, благородных и редких металлов в эндогенных и экзогенных процессах» (Улан-Уде, 2007 г.); межрегиональной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири» (Томск, 2007 г.); научной конференции «Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды» (Иркутск, 2007 г.); межвузовской научной конференции «Молодые - наукам о земле» (Москва, 2008 г.); международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» (Томск, 2009 г.); международном симпозиуме имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, (Томск, 2012 г.); втором международном симпозиуме «Ртуть в биосфере» (Новосибирск, 2015 г.); III Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения (Москва, 2015).

Публикации. По теме диссертации опубликованы в 10 статей, в том числе 4 статьи в издании, рекомендованном ВАК для публикации основных научных результатов.

Личный вклад автора.

Диссертационная работа является результатом многолетних исследований (2005-2018гг.). Диссертантом сформулирована цель работы и основные задачи исследования, сделаны основные выводы. Диссертант организовывал и принимал участие в экспедиционных исследованиях, в отборе исследуемого материала, в обобщении и интерпретации полученных результатов, выступал с научными докладами на конференциях.

Структура и объем работы. Диссертация объемом 149 страниц включает в себя введение, 7 глав, выводы, список использованной литературы (121 наименование), 13 таблиц и 82 рисунка.

Во введении указаны актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и задачи, представлена их практическая значимость и научная новизна.

В первой главе представлена краткая история изучения донных отложений.

Во второй главе рассматривается краткий очерк природно-климатических и геологических условий Томской области.

В третьей главе приводятся методические основы изучения химического состава донных отложений.

В четвертой главе охарактеризован минеральный состав донных осадков малых водоемов юга Томской области.

В пятой главе сделана оценка среднего содержания химических элементов в донных осадках юга Томской области.

В шестой главе рассмотрены основные закономерности распределения элементов в вертикальной колонке донных отложений малых водоемов Томского района, подверженных разной степени антропогенного воздействия

В седьмой главе дана радиогеохимическая характеристика донных отложений малых водоемов юга Томской области.

В выводах подведены основные итоги по проделанной работе.

Благодарности. Автор выражает огромную благодарность научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук, профессору ОГ ИШПР ТПУ Арбузову Сергей Ивановичу за всестороннюю поддержку, научное сопровождение, мотивацию, понимание и помощь на каждом этапе реализации работы. Особую благодарность автор выражает доктору геолого-минералогических наук, профессору ОГ ИШПР Рихванову Леониду Петровичу за ценные советы, рекомендации и всестороннюю помощь.

Автор признателен за помощь всем сотрудникам кафедры ГЭГХ ТПУ и выражает отдельную признательность профессору, д.г.–м.н. Е.Г. Язикову, профессору, д.б.н. Н.В. Барановской, доценту, к.г.–м.н. И. С. Соболеву, доценту, к.г.–м.н. Л. В. Жорняк, доценту, к.г.–м.н. А. М. Межибор, доценту, к.г.–м.н. В.А. Домаренко, доценту, к. х. н. Н. А. Осиповой, старшему преподавателю, к.г.–м.н. Б. Р. Соктоеву, старшему преподавателю, к.г.–м.н. Е. А. Филимоненко, старшему преподавателю, к.г.–м.н. Е.П. Янкович. Автор благодарен исполнителям аналитических исследований: с.н.с А. Ф. Судыко, Л. В. Богутской, Н.А. Осиповой, С.С. Ильенку.

ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Первоначально на донные отложения обратили внимание геологи, исследователи болот и рыбохозяйственных водоемов.

Самые первые данные об озерных отложениях отрывочны и несистематичны. Г.И. Танфильев (1900) сообщает о наличии гиттии в оз. Лунёво (район уезда Псковской губы в бассейне р. Великой) (Корде, 1978).

Многие исследователи, изучая озерные отложения, давали им свою классификацию. На данный момент существует несколько классификаций сапропелей: по содержанию золы - минерализованные (65-85%), смешанные (30-65%) и органические (до 30%), с последующим делением состава минеральной части, преобладающему содержанию животных или растительных остатков, по биологическому составу органической массы – зоогеновые, торфянистые, диатомовые, хризомонадовые и другие; по соотношению минеральной и органической частей - минеральные, органо-минеральные и органические (Корде, 1978); по зольной составляющей – кремнезёмистые, известковистые и смешанные (Титов, 1958); по содержанию золы (Пидопличко, 1975) - высокозольные 30-85% (карбонатные, кремнезёмистые и смешанные) и малозольные до 30% (торфосапропели и органические), а в каждой группе виды по признаку преобладания остатков в органической части (пыльцевой, наядовый, хвощево-телорезовый рдестовый и другие); по характеру привноса кластического материала – аллохтонный, автохтонный, смешанный и типы (Стеклов, Ильина, 1976) с дальнейшим подразделением на классы. По преобладанию минеральной или органической части - зоогеновый, известковый, торфянистый, песчаный, железистый и др. (Корде, 1978).

Содержание воды в сапропелях варьируется от 1,5 до 30 г/г сухого вещества при средней плотности 1050 кг/м³, зависит от степени уплотнения, минерализации (максимальное значение у верхних слоёв). Сапропелевые отложения характерны для водоёмов и озёр лесной зоны, которые располагаются в областях ледниковых ландшафтов. Скорость

осадконакопления сапропелей напрямую зависит от различных факторов (трофность болот и т.д.) и может изменяться от 0,3 до 7 миллиметров в год. Мощность сапропелей варьируется от 2 до 7 метров; максимальная мощность 30 метров установлена в озере Неро (Ярославская область). Прогнозные запасы сапропелей в СССР составляют примерно 250 млрд. м³, добыча ведется в основном гидромеханическими методами. Сапропели могут использоваться как удобрения при приготовлении питательных смесей, некоторые виды органического сапропеля применяются в качестве кормовых добавок животным, для приготовления буровых растворов и др., а иногда как связующий компонент в медицине. Добыча сапропелей из озер способствует улучшению состояния качества воды и условий рыбозаведения (Корде, 1978).

Изучение донных отложений континентальных водоемов Западной Сибири, начатое исследователями в 1991 году (Страховенко В.Д., Щербов Б.Л., Маликов Ю.И., Маликова И.Н.), продолжены и по сегодняшний день. Как показано многими исследователями процессов техногенного загрязнения природной среды, бессточные или слабопроточные депрессии, где обычно располагаются озера, относятся к формам рельефа с высокой аккумулятивной способностью по отношению к радионуклидам. В таких водоемах проявляются процессы как первичной, так и вторичной аккумуляции загрязнителя, транспортируемого жидким стоком из районов первичного загрязнения. Послойное изучение иловой залежи дает представление о времени заражения донных отложений тем или иным компонентом техногенного происхождения. И хотя невозможно оценить скорость накопления донных отложений в каждом отдельно взятом озере, но в общем по оценкам исследователей для равнинных территорий она составляет 0.2-0.43 см/год, а в горах или в гумидных районах может возрастать до 0.5 см/год (Страховенко, 2007). Исследователями показана возможность использования ¹³⁷Cs и ²¹⁰Pb в качестве маркера для оценки скорости осадконакопления и темпов эрозионно-аккумулятивных процессов (Страховенко, 2007).

Обследованные озера располагаются в различных ландшафтных зонах: предгорные и горные (часть озер Алтайского края, Республик Тувы и Алтай, Забайкалья), слабохолмистой и степной (основная масса озер Алтай, Прибайкалья) и таежно-тундровой (озера Ямало-Ненецкого автономного округа, Республики Саха - в аласах). Озера питаются паводковыми и фунтовыми водами, приуроченными в гористых и предгорных районах Тувы и Алтай к различного рода магматическим и метаморфическим породам, а в равнинных участках Новосибирской области, Алтайского края и Ямало-Ненецкого автономного округа - к песчано-глинистым неогенчетвертичным образованиям. По составу воды водоемы весьма разнообразны - от пресных до соленых, с различными окислительно-восстановительными обстановками, но в основном пресные.

Глубина изученных водоемов степных ландшафтах невелика и колеблется от 1,5 до 3 метров. В предгорных, таежно-тундровых зонах озера более глубокие - до 10 - 12 м.

Донные отложения имеют состав от чисто глинистых до сапропелевых с различными вариациями соотношений этих составляющих в разных озерах. Нередко отмечаются смешанный, минерально-органический тип с хорошо выраженной вертикальной зональностью.

Распределение естественных радиоактивных элементов в стратифицированных разрезах донных осадках достаточно однородно (рисунок 2) и фактически неизменно на протяжении всего изучаемого временного интервала практически для всех регионов Сибири. Исключение составляют донные осадки озер региона Байкал. Для всех трех элементов U(Ra), Th, K на глубине около 40 см происходит резкое возрастание содержаний, с последующим равномерным распределением до современной границы осадок-вода. Особенно это хорошо проявляется для озер Забайкалья. Поэтому, можно предположить, что данное увеличение активностей естественных радионуклидов связано с началом активной горнодобывающей деятельности в 40-50 годах на этих территориях.

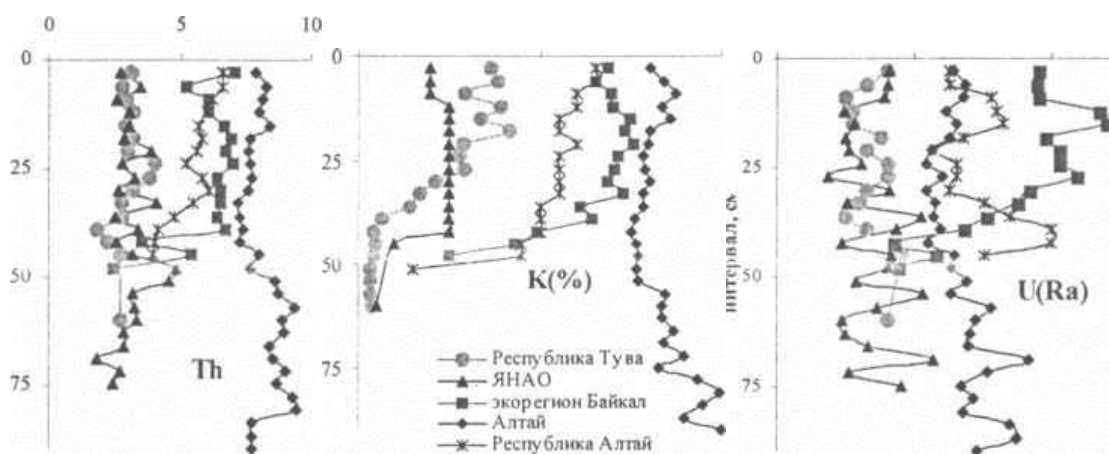


Рисунок 2 – Вертикальное распределение естественных радионуклидов U(Ra) (г/т), Th (г/т), K (%) в усредненных разрезах донных отложений различных регионов Сибири (Страховенко, 2006)

Что касается суммарных уровней загрязнения ^{137}Cs донных отложений озер Сибири, то можно отметить, что за исключением двух регионов (Пуровский район и Республика Саха) превышен уровень глобального фона, вычисленный для почв Сибири (40 мКи/км^2 на 2000 год). В этих двух северных регионах основным источником питания поверхностных вод являются снеготалые воды, что определяется длительностью зимнего периода (8 месяцев) и равнинным рельефом местности. Важно отметить, что для этих водоемов характерна очень низкая минерализация вод (в среднем - 40 мг/л) и часто повышенная кислотность вод. При таких условиях, механизмы выведения и консервации металлов в донных отложениях в водоемах северных районов действуют недостаточно эффективно. Это и определяет повышенное содержание металлов в объеме воды, высокую способность к их накоплению в растительности (Страховенко, 2006).

Особенность распределения ^{137}Cs в вертикальных колонках донных осадков различных континентальных озер Сибири сводится к увеличению концентрации ^{137}Cs к верхним горизонтам, начиная с глубины от 20 до 35 см. (рисунок 3), которая согласно графикам распределения ^{210}Pb совпадает с началом ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне (Страховенко, 2007).

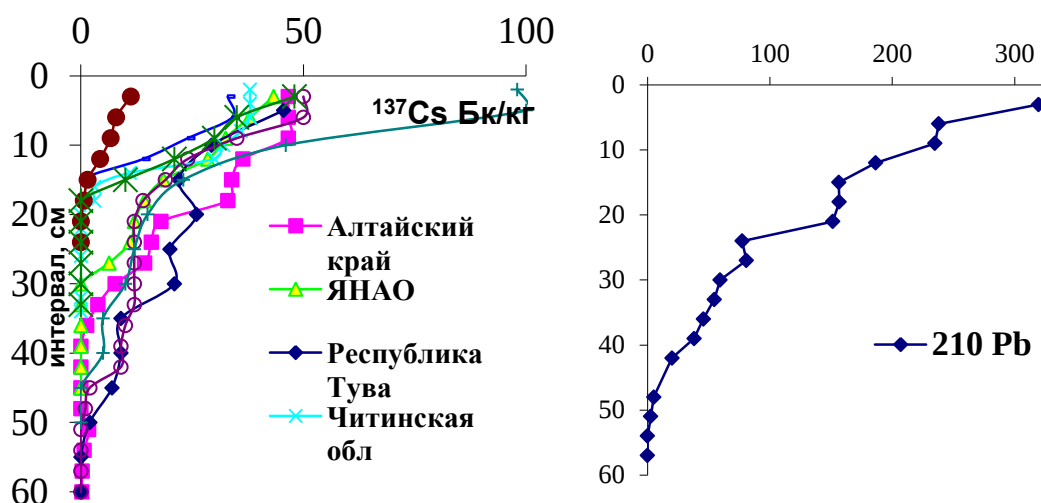


Рисунок 3 – Распределение Cs (Бк/кг) в вертикальных колонках донных осадков озер из различных водоемов Сибири и ^{210}Pb (Бк/кг) усредненный вертикальный разрез по 6 озерам Алтайского края (Страховенко, 2006)

Такое распределение вероятней всего объяснить с одной стороны тем, что через относительно большие промежутки времени после поступления радионуклидов в водоем их количество постоянно возрастает в верхних слоях осадков. Осаждающийся на дно неорганические частицы, детрит и более крупные остатки отмирающей биомассы увлекают с собой на дно водоема попавшие в него радионуклиды. Синхронно идет постоянное их перераспределение на границе вода-дно и новое накопление в корнях водных растений и бентосе. Отмирание биомассы сопровождается вновь возвращением радионуклидов в донные отложения. С другой стороны, это явления может быть связано с вторичным загрязнением осадков в результате постоянного привноса радиоцезия с площадей водосбора.

На основании полученных данных установлено (Страховенко, 2006): - содержание естественных радионуклидов в донных отложениях озер соответствуют значениям естественной радиоактивности горных пород и почв для данного региона;

- в распределении ^{137}Cs в вертикальных колонках донных осадков различных континентальных озер Сибири сводится к увеличению концентрации ^{137}Cs к

верхним горизонтам, начиная с глубины от 20 до 35 сантиметров (рисунок 3), которая согласно графикам распределения ^{210}Pb совпадает с началом ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне;

- существует прямая корреляция суммарного уровня загрязнения радиоцезием донных отложений от площадей водосбора озер в степных, горных и лесостепных ландшафтах;

- неравномерное распределение радиоцезия по акватории озер обусловлено многими факторами. Максимальные активности радиоцезия находятся в застойных зонах озер (Страховенко, 2011).

Территория Томской области достаточно заболочена – до 40%, заторфована – 24,4% и заозерена – 112,9 тысяч озер с суммарной площадью зеркала воды 4451 км². Большинство водоемов приурочено торфяно-болотным массивам водораздельного типа и к поймам рек, что в первую очередь и определяет процесс осадкообразования. Высокая биологическая продуктивность водоемов, обусловленная природно-климатическими условиями региона, способствует образованию сапропелей (Кудашев, 2004).

В.К. Бернатонисом, В.С. Архиповым и И.Г. Кудашевым была проделана большая работа по подсчетам запасов, изучению генезиса и состава сапропелей Томской области. Определены направления использования сапропелей в народном хозяйстве, сделана оценка прогнозных ресурсов сырья (Кудашев, 2004).

Основное опробование озер было сделано в 2001 году. За этот период было опробовано 304 водоема (озера, пруды, старицы), располагающихся в основном на юге Томской области. Каждый водоем был прозондирован с опробованием донных отложений, для выявления прогнозных ресурсов сапропелевых отложений категории P_2 .

По результатам проделанной работы, сапропелевые осадки с зольностью до 85%, были установлены в 69 водоемах общей площадью 845 га. Прогнозные ресурсы по категории P_2 суммарно составили 6606.3 тыс. т (таблица 1).

Была сделана оценка геологических ресурсов озерных сапропелей,

которые составляют почти 1,2 млрд. т., исходя из удельной сапропеленосности водоемов.

Таблица 1 – Прогнозные ресурсы озерных сапропелей в южных районах Томской области (Кудашев, 2004)

Административный район	Количество озер (участков)	Общая площадь озер, га	Сумма прогнозных ресурсов по категории Р2, тыс. т
Асиновский	10	87,80	448
Зырянский	11	310,40	3629
Кожевниковский	28	294,35	1465,4
Кривошеинский	10	31,18	299,9
Томский	4	36,26	79,4
Шегарский	6	85,00	684,6
Всего	69	844,99	6606,3

Согласно существующей классификации, большая масса сапропелевых отложений исследуемых озер относятся к органо-силикатному, силикатному классу и терригенному типу. Из-за того что в этой большой проделанной работе авторы опробовали в основном пойменные водоемы, то наибольшую часть сапропелей можно отнести к высокосольной группе. (Кудашев, 2004)

Хорошей изученностью характеризуются некоторые озера Иркутской области оз. Очауль (Семенова и др, 2005), и оз. Сказка (Восель и др, 2008). В озере Очауль изучен сапропель и его минеральный состав. Изучение состава сапропеля Очауль были проведены в 1990-1991 годах.

Качественный и количественный составы минеральных веществ сапропеля изучены с помощью технического, рентгено-флуоресцентного, рентгеноструктурного и полуколичественного визуального атомно-эмиссионного анализов. Воспроизводимость результатов атомно-эмиссионного анализа составила 0.10-0.50, что соответствует 5-й категории методов анализа по точности результатов. Предел обнаружения элементов представлен в табл. 2. Контроль правильности результатов анализа проб сапропеля проведен по ГСО № 521-88П, ГСО № 7125-94, ГСО № 7177-95, СОП ДИ-1-84 и не выявил значимых систематических погрешностей.

Таблица 2 – Химический состав сапропеля по данным полуколичественного атомно-эмиссионного анализа (Семенова и др, 2005)

Химический элемент	Предел обнаружения	Глубина залегания, м					
		0-0,4	0,4-0,8	0,8-1,2	1,2-1,6	1,6-2,0	2,0-2,5
	%	% на d					
Ca	0,001	20	25-30	30	35	35	10
Si	0,0001	10	3	7	2	3	25
Al	0,0001	1,5	1,3	1	0,3	0,4	4
Mg	0,0001	2	1,5	1,5	1	1,5	3
Fe	0,0001	2	2	1,5	0,3	0,3	4,5
Na	0,005	0,15	0,2	0,2	0,15	0,1	0,25
K	0,5	0,6	0,5	0,8	<0,5	<0,5	1
	г/т	г/т на d					
Ba	2	35	30	40	45	40	40
Sr	3	50	60	80	200	200	45
Ni	0,1	4	3	4,5	1	1	7
V	1	6	9	8	1	3	10
Cr	0,5	4	3	3	<1	<1	6
Pb	0,1	1	1	1	<0,1	0,15	2
Cu	0,1	7	8	8	5	3	16
Zn	2	3	<3	<3	<3	<3	<3
Zr	0,1	3	4	3	1	0,5	6

Кроме указанных в таблице 2 в сапропеле идентифицированы также элементы с содержанием, г/т: Co 0,1-0,8; Mo 0,15-0,6; Be 0,01-0,1; Sc <0,1-0,8; Ga 0,1-0,8; Pb 0,15-1,0; La <1-2; Nb <0,5-1,5; Y <0,2-1,3. В сапропеле не обнаружены такие экологически опасные элементы, как U (<0,02), As (<0,01), Cd (<0,001), Sb (<0,001); в скобках указан предел обнаружения, %. Не установлено присутствие W, Au, Pd, Pt, Te, In, Ge, Ta, Bi, Th (Семенова и др, 2005).

Изучением донных отложений в Карелии, где озера являются неотъемлемым элементом ландшафта, начали заниматься в 30-е годы двадцатого века (Чернов, 1939; Экман, 1978). Современный этап изучения донных отложений озер Карелии пришелся на 80-е годы двадцатого века. В состав группы исследователей входили сотрудники лаборатории четвертичной геологии и геоморфологии: И.М. Экманом, С.А. Вяхиревым, А.М. Колканен, Л.И. Гутаевой, Н.Б. Лавровой, Е.Б. Алексеевой, А.Д. Лукашовым, В.А. Ильиным и другие. В результате многолетних исследований была предложена схема районирования по временному образованию водоема за последние 12-13 тысяч лет и представлены

типы донных осадков в разрезе. Согласно предложенной схеме образование озер происходило в разновозрастных зонах дегляциации.

Формирование донных осадков озер Карелии происходило главным образом, в голоцене и послеледниковье, которые в свою очередь субгоризонтально залежали на дне водоемов, выравнивая его рельеф. Озера Карелии характеризуются накоплением различными генетическими типами донных осадков: биогенные озерные отложения – торф, диатомиты и сапропели, хемогенные осадки – озерная известь (озерный мергель или гаж), минеральные терригенные осадки – пески, алевроиты, глины, железная руда; смешанные типы отложений – диатомовые, известковистые или песчанистые сапропели и т.д.

Состав донных отложений изменяется как по вертикали, так и по латерали, указывая на смену условий осадконакопления во времени и пространстве. Особенности химического состава донных отложений водоемов Республики Карелия приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Особенности химического состава донных отложений водоемов Республики Карелия (Яковлев, 1954)

Тип отложений	Подтип отложений	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	П.п.п
Минеральные	Пески	75,50	12,05	1,0	1,58	2,50	0,65	0,51
	Алевриты	67,18	11,21	1,61	1,91	2,04	1,67	9,35
	Глины	65,18	14,50	3,46	1,89	2,03	2,87	3,58
	Ленточные глины	67,77	14,32	5,34	–	1,98	2,12	2,43
Органогенные	Сапропели	8,12-34	1,1-12	2,71-6,0	3,0-5,3	1,33-2,27	0,76-1,57	63,4-87,0
	Железистые сапропели	2,3-22,9	0,09-6,89	10,1-31,54	6,99-27,4	0,54-2,45	0-0,38	35,8-52,7
Хемогенные	Диатомовые сапропели	35-49	0,2-9,14	0,08-7,24	0,35-4,3	0,49-2,11	0,18-1,12	65-51
	Диатомиты желтые, белые	81-95	2,46 -2,5	0,13-0,3	0,6-0,62	0,3-0,49	0,1-0,15	0,06-14,4
	Коричневые диатомиты	50-78	0,5-6,9	0,02-0,82	0,19-3,73	0,1-1,45	0,1-1,45	0,07-1,97
	Торф	1,33-6,52	0,54-0,57	0,75	0,67	0,62-2,02	До 0,05	91-94,5
	Коричневые илы с вивианитом	58,71	15,04	3,67	2,92	1,78	3,14	8,68
	Гаж (озерная известь)	1,37-4,28	0,32-0,86	0,23-0,59	0,03-0,29	41,15-49,91	0,5-1,7	44-54,8
	Железная руда	< 30		35-40				

В большей части донные отложения озер Карелии представляют собой сапропель (в переводе с греческого – гниющий ил), максимальная мощность

которого достигает до 9 метров. Осадки представляют собой жирную, мягкую коллоидную массу темно-коричневого, иногда черного цвета, содержащую в природных условиях 70-90% воды. Органическая часть донных отложений состоит на 34-44% кислорода, 6-7% водорода, 40-50% углерода и до 6% азота (Яковлев, 1954).

Донные отложения малых водоемов и озер являются достоверными индикаторами для изучения загрязнителей водных объектов (Alemdaroglu, et al., 2003; Heyvaert, et al., 2000). Они могут быть загрязнены токсичными элементами, поступающими разными путями, при этом тяжелые металлы представляют наибольший интерес (Engstrom et al., 1984). Накопление тяжелых металлов в донных отложениях малых водоемов может идти от атмосферных осадков, от сточных вод, впадающих рек, несущих химикаты от сельскохозяйственной, индустриальной и городской деятельности (Park, Kang, 2010).

На примере трех разноудаленных от источника эмиссии озер Южного Урала рассмотрены вопросы оценки масштабов накопления техногенных тяжелых металлов с использованием в качестве геохимических возрастных трассеров короткоживущих радионуклидов ^{210}Pb и ^{137}Cs . Выявлены количественные закономерности объемов поступления антропогенных примесей на акваторию озер в доиндустриальный и индустриальный периоды.

При исследовании трех разноудаленных от источника загрязнения озер Южного Урала выявлены количественные закономерности объемов поступления антропогенных примесей на озера в индустриальный и доиндустриальный период (Удачин, 2009). В качестве геохимического возрастного индикатора использовали короткоживущие радионуклиды ^{137}Cs и ^{210}Pb .

Исследуемые озера Тургояк, Алабуги и Серебры расположены на различном расстоянии от источника загрязнения (эмиссии) – труб медеплавильного завода.

На рисунке 4 изображены графики концентрации тяжелых металлов в вертикальном профиле колонки донных отложений исследуемых озер.

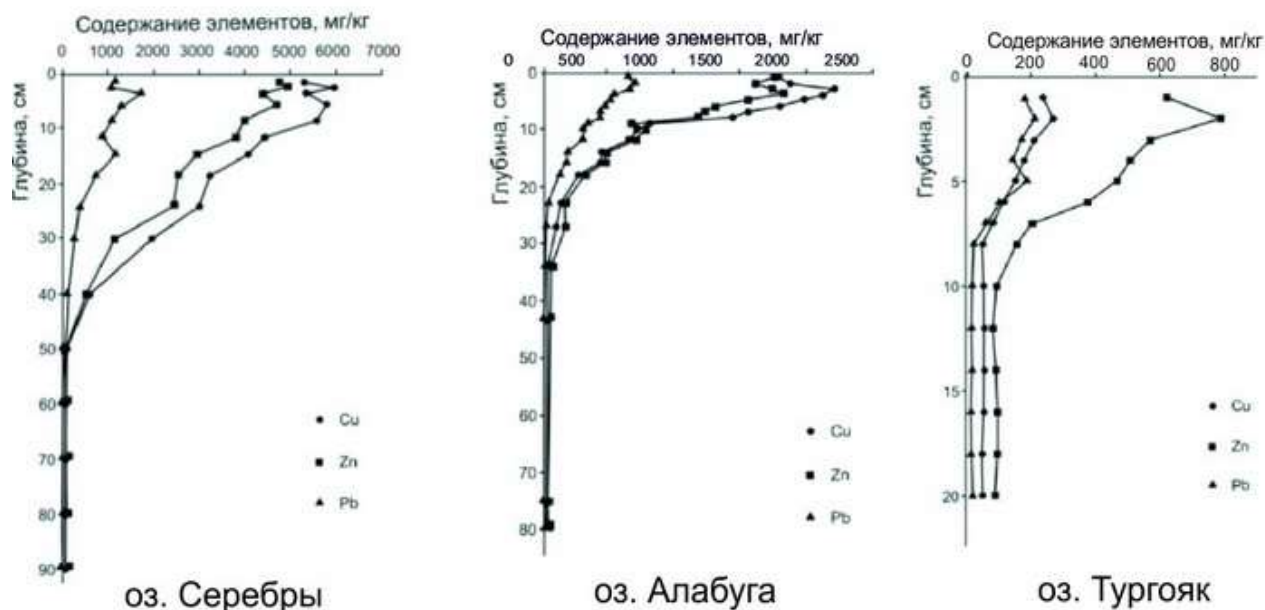


Рисунок 4 – Концентрации тяжелых металлов в вертикальном профиле колонки донных отложений (Удачин, 2009)

Определив скорость осадконакопления и характер распределения в донных отложениях изученных озер, были сделаны следующие выводы:

- такой характер распределения элементов отражает тип техногенного влияния на озера с резким увеличением в период индустриализации;
- начало периода индустриализации определяется точным источником эмиссии – Карабашский медеплавильный завод (начало воздействия 1910 г.) (Удачин, 2009).

Для оценки геохимической обстановки и изучению изотопии современных донных отложений Эстонского озера Номерхау (Nommejarv) (рисунок 5) были использованы методы РФА, спектроскопии углерода и стабильных изотопов кислорода в карбонатах ($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ и $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$). Временной интервал был определен методом датирования по ^{210}Pb .

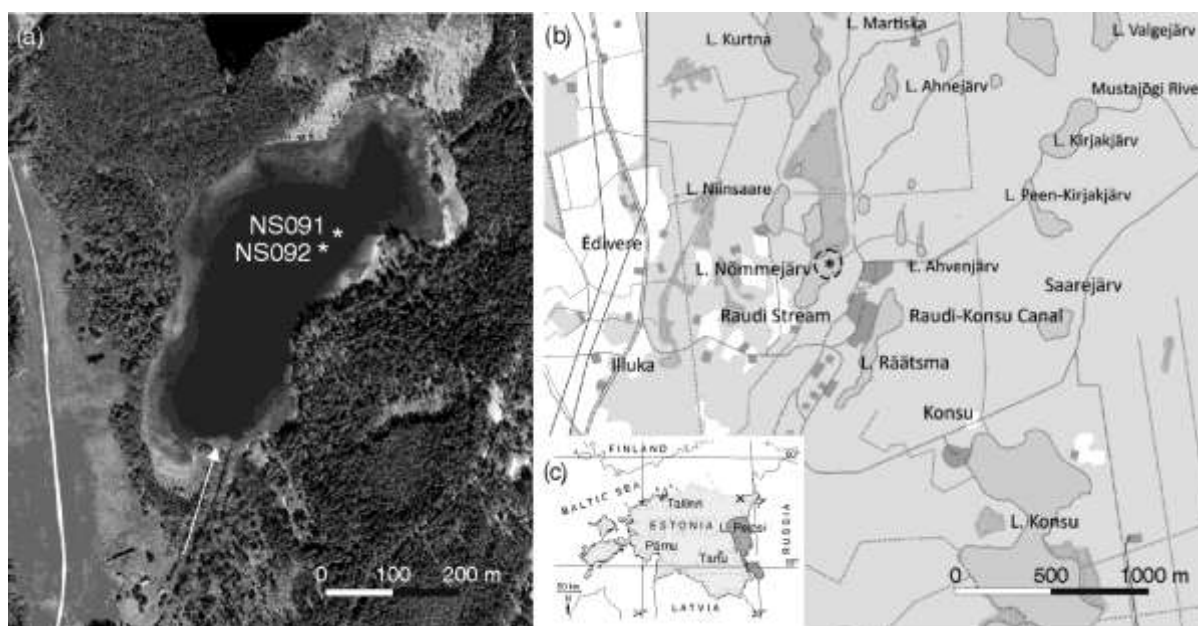


Рисунок 5 – Расположение озера Номерхау с двумя точками прробоотбора NS091 и NS092 (Marzecová et al., 2011)

Исследованиями ученых из Эстонии (A. Marzecová, A. Mikomagi, A. Koff, T. Martma) показано три основные зоны с контрастными пиками элементного состава (рисунок 6). Исключением является группа тесно коррелирующих литофильных элементов Al, Si, Ti, K, Rb и Zr (менее коррелирующих Mg, Zn, Cu) (Marzecová et al., 2011). Их профили изменяются конгруэнтно во всех зонах, и представляют собой минеральную фракцию, состоящую из терригенных частиц, полученных из водосбора минеральных источников (Boyle, 2001).

Имеющие сходные химические свойства, Sr легко замещает Ca в структуре карбонатных минералов. Замещение Sr для Ca хорошо описан в карбонатных породах, но их совместное осаждение наблюдалось также в озере мергельевого типа (Treese, et al., 1981).

Исследования показали, что верхняя часть донных отложений зона озера Номерхау, которая накопилась с начала 1990-х годов, имеет более стабильный химический состав, чем основной зоны, соответствующей периоду высоких промышленных и землепользования воздействий. Изменение химического состава современных осадков происходило под влиянием двух процессов -

осаждения аллохтонных терригенных минеральных частиц и накопление аутигенных карбонатов. Высокое содержание минеральных веществ индуцируется человеком, и это было связано с седиментации терригенных частиц, полученных из шахтной воды, которая была направлена из сланцевых шахт в озеро с начала 1970-х годов (Marzecová, et al, 2011).

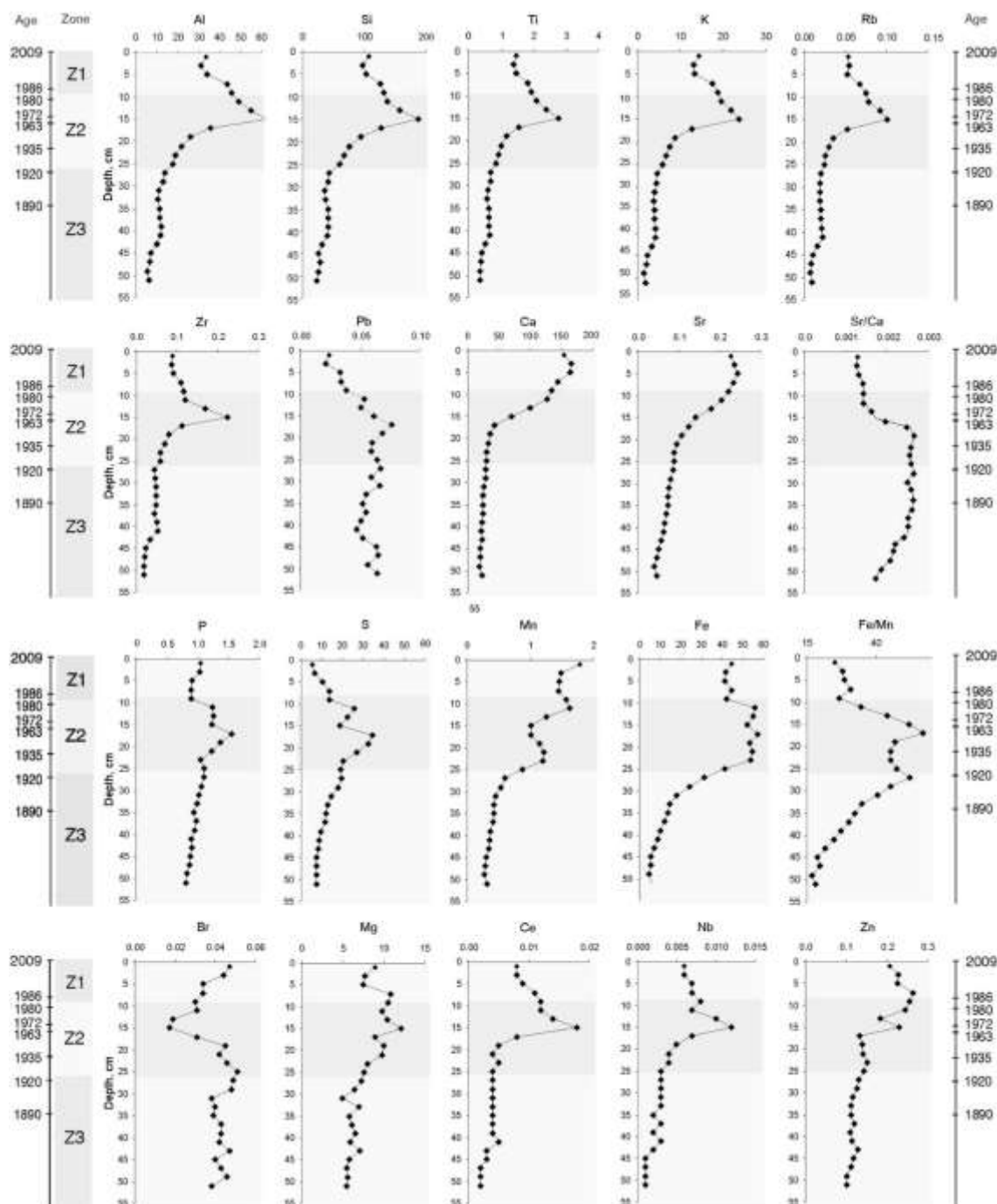


Рисунок 6 – Вертикальное распределение элементов в колонке донных отложений, мг/г. Возрастная шкала выводится по датировке ^{210}Pb (Marzecová et al., 2011)

Анализ истории показывает, что изучение донных отложений происходит достаточно интенсивно. Изучение донных отложений водоемов позволяет:

- изучить процессы миграции и концентрации микро-, макрокомпонентов, редкоземельных элементов и радионуклидов при осадконакоплении в континентальных озерах различных ландшафтных зон;*
- использовать донные отложения озер в качестве важного маркера окружающей среды для определения значений регионального геохимического фона;*
- изучить состав и генезис донных отложений с определением возможных направлений его использования в народном хозяйстве и оценкой прогнозных ресурсов сырья;*
- определить соответствующий временной период поступления химических элементов в донные отложения с целью определения антропогенного воздействия.*

ГЛАВА 2. КРАТКИЙ ОЧЕРК ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

2.1. Природно-климатические условия Томской области

Томская область входит в состав Сибирского федерального округа. Расположена на юго-востоке Западно - Сибирской равнины и занимает площадь 316,9 тыс. км². Протяженность области с запада на восток - 780 километров, а с юга на север составляет 600 километров. Область входит в состав Сибирского федерального округа. На севере и северо-западе она граничит с Ханты-Мансийским автономным округом, на западе - с Омской, на юго-западе - с Новосибирской, на юге - с Кемеровской областями, на востоке и северо-востоке - с Красноярским краем (рисунок 7). Как административно-территориальная единица, область образована 13 августа 1944 г. Административный центр г. Томск.



Рисунок 7 – Расположение Томской области на территории Российской Федерации (Map of Russia - Tomsk Oblast, 2008)

Главной водной артерией является река Обь, разделяющая Томскую область на две примерно равные части и имеющая многочисленные притоки. Крупнейшие из них: Томь, Чулым, Кеть и Васюган. Большая часть территории заболочена.

По схеме климатического районирования Томской области территория работ относится к умеренно-прохладной и умеренно-влажной зоне. Климат резко континентальный с холодной продолжительной зимой и жарким коротким летом. Сумма годовых осадков равна 568 мм. Наибольшее их количество приходится на июль-август. Общее число дней с осадками составляет за год 175-200.

Среднегодовая температура равна - 0,6 °С. Средняя температура июля +18,1 °С, января - 19,2 °С. Устойчивые морозы наступают в первой декаде ноября, прекращаются в последней декаде марта. Продолжительность периода с устойчивыми морозами около 140 дней. Преобладающая температура самых холодных месяцев (декабрь - февраль) в дневное время. – 14 – 19°С, ночью - 23 – 29°С, абсолютный минимум – 54°С.

Начало промерзания почвы приходится на середину – конец октября, полное оттаивание – на май – июнь, глубина промерзания колеблется от 0,5 до 1,5 м. Устойчивый снежный покров устанавливается в конце октября - начале ноября. Начало таяния снегов – конец марта - начало апреля. Средняя высота снежного покрова составляет 70-80 см. Преимущественное направление зимних ветров – южное, юго-западное, с мая и весь летний период преобладают северные ветры (Евсеева, 2001).

Растительность района представлена смешанным берёзово-осиновыми лесами, которые участками сменяются хвойными (сосна, ель, пихта). Поймы рек, в основном, заросшие тальником, черёмухой, шиповником, смородиной. Участки, покрытые лесом, чередуются с открытыми пространствами, занятыми пашнями. Из животного мира встречаются волк, медведь, рысь, лось, заяц, лиса; из змей – гадюка. Характерна высокая степень заражения клещевым энцефалитом.

Почвообразующие породы в пределах Томской области имеют различный генезис – водно-ледниковый, озерный, озерно-аллювиальный, аллювиальный, местами эоловый. Формирование почв создается при участии и под влиянием

различных сил природы. Почвы томской области характеризуются повышенным гидроморфизмом. На рисунке 8 показано как распределяются переувлажненные почвы по территории Томской области. Признаки гидроморфизма не всегда связаны с заболоченностью районов. Очень часто, главным образом в южных районах, переувлажненность является результатом длительного промерзания и постепенного оттаивания почв.

В связи с природными условиями почвенный покров Томской области разнообразен по основным химическим и морфологическим свойствам: структуре почв, химическому и механическому составу, мощности гумусового горизонта, почвообразовательному процессу выделяется: автоморфные, гидроморфные и полугидроморфные почвы (Евсеева, 2001).



Рисунок 8 – Переувлажненность почв. Удельный вес переувлажненных почв в общей площади административного района: 1 – 10-25%; 2 – 25-50%; 3 – 50-75%; 4 – более 75% (по Н.С. Евсеевой, 2001)

Рельеф Томской области слабо расчлененный. На сотни километров тянутся плоские, сильно заболоченные равнины с высотными отметками ниже 150 м над

уровнем моря. Наибольшие абсолютные высоты (200-250 м) и изрезанность рельефа свойственны Томь-Яйскому междуречью на крайнем юго-востоке области, охватывающему отроги Кузнецкого Алатау (рисунок 9). От этой наиболее возвышенной части поверхность области слабо наклонена к северо-западу и почти пополам разделена долиной реки Оби, протекающей в этом же направлении. Левобережье Оби в отличие от правобережной части территории характеризуется более низкими абсолютными отметками поверхности и большей заболоченностью.

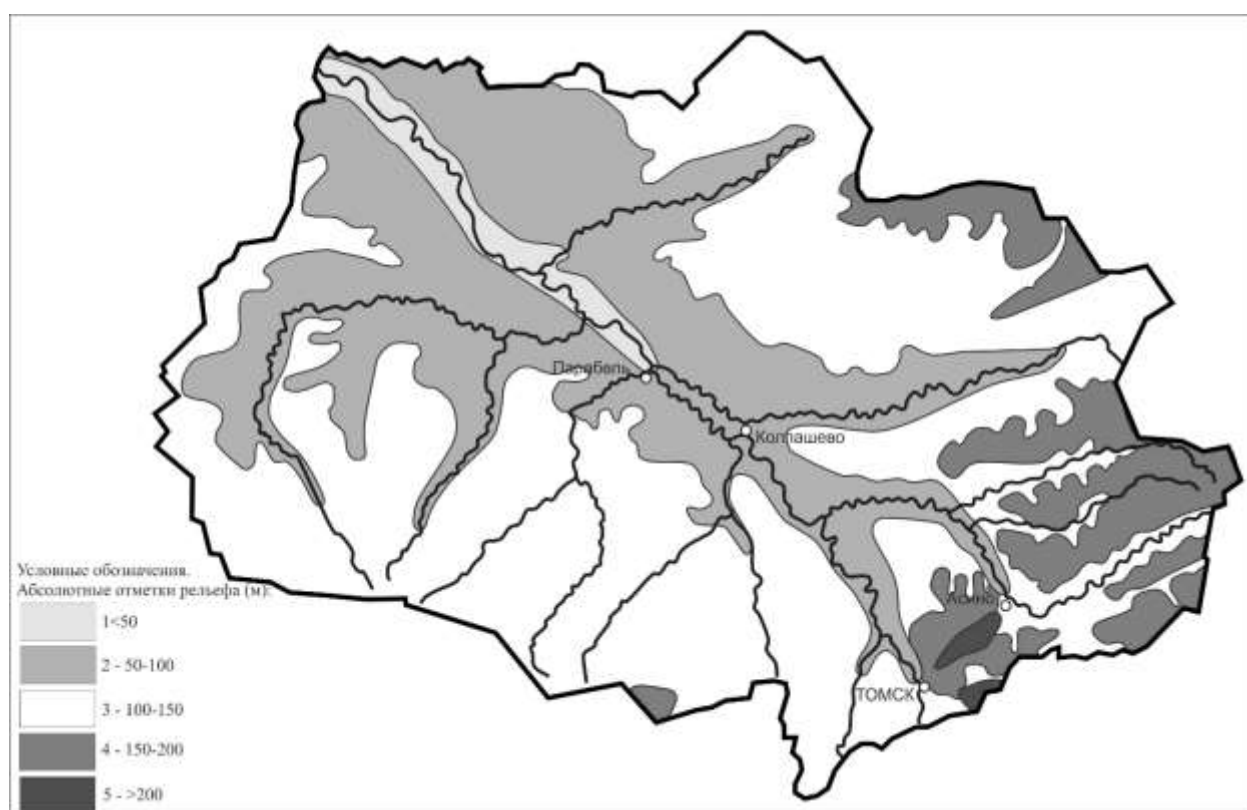


Рисунок 9 – Гипсометрическая схема Томской области (по Н.С. Евсеевой, 2001)

Томская область - один из ключевых регионов в составе СФО с уровнем индустриализации, превышающим средний показатель по регионам округа. К основным отраслям народного хозяйства в области относятся топливная, химическая и нефтехимическая промышленность, цветная металлургия, машиностроение, приборостроение и металлообработка, а также лесная, деревообрабатывающая отрасли и индустрия строительных материалов.

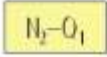
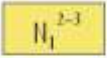
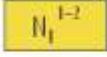
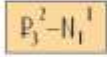
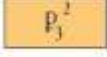
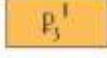
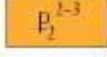
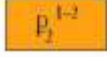
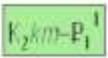
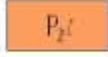
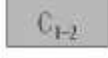
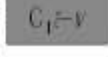
2.2. Геологическое строение Томской области

В региональном плане Томская область занимает юго-восточную окраину Западно-Сибирской плиты, ограниченную на крайнем юго-востоке структурами Колывань-Томской складчатой зоны и Кузнецкого Алатау. Ее территория имеет трехярусное строение, обусловленное проявлениями байкальско-салаирского, герцинского и мезозойского геотектонических этапов развития. Каждому из них присущи свои структуры, различающиеся на геологической карте фундамента по составу формаций. Два нижних структурных яруса образуют складчатый фундамент плиты, верхний – платформенный чехол (рисунок 10).

Фундамент сложен сильно дислоцированными, метаморфизованными эффузивно-терригенными породами докембрия и палеозоя, прорванными интрузиями разного состава и возраста (рисунок 11). Самыми древними образованиями в фундаменте плиты считаются структуры байкальской тектонической эпохи, представленные метаморфическими комплексами протерозоя и нижнего палеозоя. К байкалидам относят Верхнекетский древний массив Енисейской складчатой системы на севере, складчатое основание Межовского срединного массива на юго-западе области и Киргислинский тектонический блок, выделенный в структурах Кузнецкого Алатау на Томь-Яйском междуречье («Атлас Томской...», 2006»).

Рисунок 10 – Фрагмент карты геологического строения юга Томской области (Стрельников и др., 2000)

Условные обозначения

	Административные центры субъектов Российской Федерации		
ТОМСК			
	Административные центры		
АСИНО			
	Города		
БАКЧАР			
	Прочие населенные пункты		
Могочино			
	Границы субъектов Российской Федерации		
Парбис			
	Гидросеть		
	Горизонтالي рельефа		
	Геологические границы		
	Плиоцен-неоплейстоцен, нижнее звено		
	Неогеновая система		
	Средний-верхний миоцен		
	Нижний-средний миоцен		
	Нижний миоцен		
	Средний олигоцен-нижний миоцен		
	Палеогеновая система		
	Верхний олигоцен		
	Нижний олигоцен		
	Средний-верхний эоцен		
	Нижний-средний эоцен		
	Меловая система		
	Кампанский ярус - нижний палеоцен	верхний отдел	
	Коньякский-кампанский ярусы		
	Сеноманский-туронский ярусы		
	Пермская система		
	Верхний отдел. Татарский ярус		
	Каменноугольная система:		
	Нижний-средний отделы	нижний отдел	
	Турнейский-визейский ярусы		
	Турнейский ярус		
	Девонская система		
	Фаменский ярус	верхний отдел	
	Франский ярус		
	Средний отдел. Живетский ярус		
	Кембрийская система		
	Средний отдел		

Условные обозначения к рисунку 10

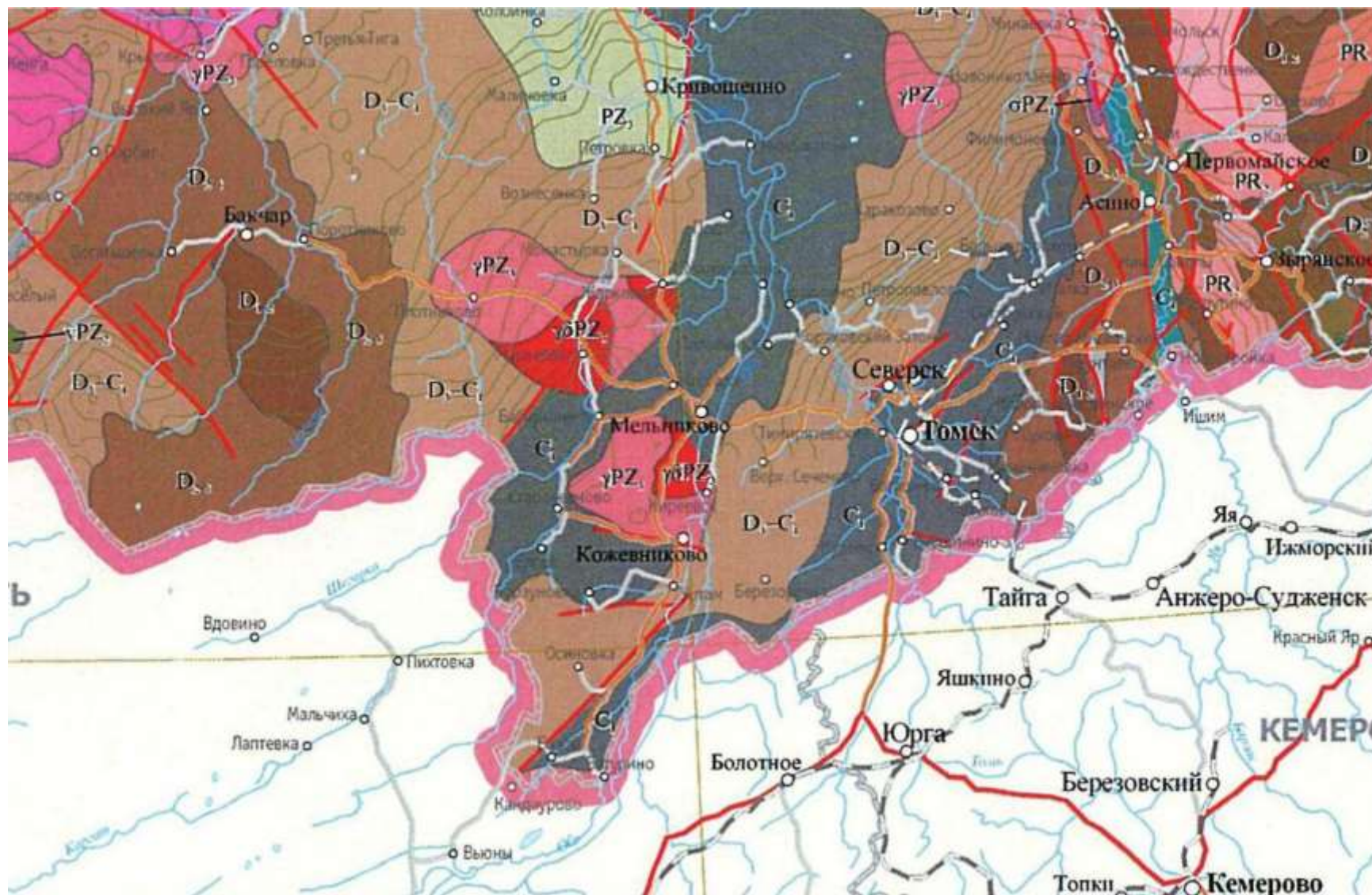


Рисунок 11 – Фрагмент геологической карты палеозойского фундамента (Сурков, 2000)

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

НАСЕЛЕННЫЕ ПУНКТЫ	
○	Центры областей
○	Центры районов
○	Поселки сельского типа
ГИДРОГРАФИЯ	
	Озера
	Реки
ТРАНСПОРТ	
	Железные дороги
	Автоматистральи (автострaды)
	Автомодороги с усовершенствованным покрытием
	Автомодороги с покрытием
ГРАНИЦЫ	
	Федеральных округов
	Краев, областей, авт.округов
	Томской области
ОБРАЗОВАНИЯ СКЛАДЧАТОГО ФУНДАМЕНТА	
	Триасовая система, нижний-средний отде
	Верхний палеозой нерасчлененный
	Пермская система, верхний отдел
КАМЕННОУГОЛЬНАЯ СИСТЕМА	
	Средний-верхний отделы
	Нижний отдел
	Средний палеозой нерасчлененный
	Верхний девон-нижний карбон

ДЕВОНСКАЯ СИСТЕМА	
	Девон нерасчлененный
	Средний-верхний отделы
	Нижний-средний отделы
	Нижний-средний палеозой
	Нижний палеозой нерасчлененный
	Ордовикская система, средний отдел
	Кембрийская система, нижний отдел
	Протерозой нерасчлененный
	Верхний протерозой-нижний палеозой
	Верхний протерозой-нижний кембрий
	Верхний протерозой
РАННЕ-СРЕДНЕТРИАСОВЫЕ ИНТРУЗИИ	
	Долериты, диабазы, монцониты
	Гипербазиты, серпентиниты
	Граносиениты, сиениты
ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЕ ИНТРУЗИИ	
	Граниты
	Гранодиориты
СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЕ ИНТРУЗИИ	
	Диориты
	Габбро, габбронориты
	Граниты
	Гранодиориты
РАННЕ-СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЕ ИНТРУЗИИ	
	Граниты
РАННЕПАЛЕОЗОЙСКИЕ ИНТРУЗИИ	
	Гипербазиты, серпентиниты
	Геологические границы
	Тектонические разломы
	Изогипсы кровли палеозойского фундамента

Условные обозначения к рисунку 11

Салаирские образования представлены рифей-нижнекембрийскими офиолитами и вулканитами Кузнецко-Алатауской зоны на востоке области. Совместно с байкалидами они формируют единую структуру - Яйский горст. Слагающие его метаморфизованные толщи прорваны интрузиями габброидов и гипербазитов. В нижнекембрийских терригенно-вулканогенных отложениях салаирид широко проявился рудоносный гидротермальный метасоматоз, выраженный зонами колчеданно-полиметаллической минерализации. На северном продолжении структур Кузнецкого Алатау салаириды образуют блоковые выступы, выходящие в эрозионных срезах фундамента на Тым-Кеть-Чулымском междуречье и в бассейне р. Чулым. На западе салаириды ограничиваются Белоярским, на востоке - Верхнекетским глубинными разломами.

Структуры герцинской эпохи образуют верхний ярус фундамента, который представлен формациями краевых прогибов, межгорных и наложенных впадин, сложенных преимущественно осадочными терригенными, реже вулканогенно-осадочными комплексами среднего и верхнего палеозоя. Накопление их происходило в условиях преобладающего прогибания территории. Сформированные толщи залегают с угловым несогласием на дислоцированном байкальско-салаирском основании. Зональность герцинид выражена в их расчленении (с запада на восток) на Верхневасюганскую, Сенькинско-Варьёганскую, Нарымско-Колпашевскую и Пыль-Караминскую структурно-фациальные зоны («Атлас Томской...», 2006»).

На крайнем юго-востоке герциниды выходят на поверхность в пределах Томского выступа. Вследствие различия фациальных условий осадконакопления здесь выделяются две зоны: Колывань-Томская на западе и Кузнецко-Алатауская на востоке. Основной герцинской структурой считается Колывань-Томская складчатая зона, северным продолжением которой является Пыль-Караминский мегантиклинорий. Мощная (до 7 км) девон-каменноугольная толща представлена вулканогенными и карбонатно-терригенными флишоидными отложениями Томского прогиба. Отложения всего структурно-формационного комплекса смяты в узкие субмеридиональные складки и прорваны дайками «томских диабазов». К

зонам гидротермального изменения терригенных толщ карбона приурочена кварцево-жильная минерализация и рудопроявления золота, сопровождаемые шлиховыми потоками рассеяния и небольшими россыпями.

С востока Томский прогиб ограничен Томским надвигом, по которому девонские отложения Колывань-Томской зоны надвинуты на более молодые отложения северного продолжения Кузнецкого Алатау. Надвиг сопровождается зонами дробления и осложнением складчатых структур. В его тыловой части выделена Урбейская зона смятия, перспективная на золото. В оперяющих широтных зонах дробления Коларовско-Семилуженского надвига установлены проявления рассеянной золото-сурьмяной минерализации («Геологическое строение ...», 1998; Черняев, 2000).

Платформенный чехол сформировался в кайнозое и мезозое в результате начавшегося в юрское время погружения Западно-Сибирской плиты и накопления мощных толщ континентальных, прибрежно-морских и морских отложений. Положение наиболее глубоководных зон предопределил рифтогенез, проявившийся на западе территории области в поздне триасовое время. На палеорельефе доюрского фундамента возникла система грабен-рифтов в виде желобов большой протяженности, выполненных вулканогенно-осадочными образованиями рифтогенного комплекса.

В основании платформенного чехла залегают юрские отложения, являющиеся основным нефтегазоносным комплексом юго-востока Западно-Сибирской плиты. По условиям формирования юрской толщи на территории Томской области выделяются Обь-Тазовская и Обь-Иртышская фациальные области. Обь-Тазовская область охватывает наиболее прогнутые участки плиты на северо-западе и западе территории с накоплением (до 800- 1000 м) морских и прибрежно-морских терригенных фаций, богатых органическим веществом. К Обь-Иртышской области относятся участки на востоке, выраженные в юрском палеорельефе мегавалами, крупными поднятиями и сводами. Здесь развиты преимущественно континентальные угленосные фации (Западная Сибирь..., 2000; «Атлас Томской...», 2006)).

Меловая система представлена отложениями морского, прибрежно-морского и континентального генезиса. Морские фации установлены к западу от г. Колпашево, континентальные распространены восточнее меридиана с. Белый Яр. Пространство между ними занимают фации переходного характера, отражающие резкую изменчивость границ древней береговой линии. Привычная схема стратификации для морских и прибрежно-морских нижнемеловых образований (неоком) в последнее время пересматривается в пользу клиноформной модели строения этого нефтегазоперспективного комплекса, основанной на установленном скольжении возрастного диапазона свит в процессе их формирования.

К прибрежно-морским фациям верхнего мела приурочены железистые песчаники и оолитовые железные руды нарымского и колпашевского горизонтов. С континентальными образованиями верхнего мела, залегающими на восточном погружении Томского выступа вблизи дневной поверхности, связаны локальные проявления бокситов.

В составе палеогеновой системы на территории области присутствуют морские, прибрежно-морские и континентальные отложения палеоцена, эоцена и олигоцена. Геологические разрезы палеогена, как и меловых отложений, фациально изменчивы. Эоценовые отложения распространены в западной части территории. К глауконитовым песчаникам в основании эоцена приурочен бакчарский горизонт железных руд, формирующий совместно с нарымским и колпашевским горизонтами Бакчарский рудный узел. На северо-западном погружении Томского выступа в прибрежно-морских эоценовых отложениях установлены промышленные циркон-ильменитовые россыпи. Более широко развиты олигоценовые отложения, слагающие наряду с континентальными отложениями верхнего мела и эоцена водораздельные пространства бассейна р. Оби и ее притоков. Выявленная угленосность отложений олигоцена предопределяет перспективы создания в области надежной сырьевой базы бурых углей («Атлас Томской...», 2006»).

Отложения неогенового возраста распространены на юге и востоке области, частично закартированы на севере и полностью отсутствуют в среднем и верхнем Приобье. Они представлены аллювиальными и озерно-аллювиальными нижнемиоценовыми, ниже-среднемиоценовыми, а на локальных участках среднего течения рек Улуул и Чичкаюл, средне-верхнемиоценовыми образованиями.

Четвертичные отложения, завершающие платформенный чехол, распространены повсеместно. Они отражают собой новейший этап поднятия Западно-Сибирской плиты и ее складчатого обрамления. В эоплейстоценовую эпоху происходило накопление озерно-аллювиальных отложений, входящих в состав регионального кочковского горизонта. Ранне-среднеплейстоценовая эпоха характеризовалась накоплением озерно-аллювиальных осадков. Принадлежность значительной части территории области к приледниковой зоне максимального оледенения предопределила определенную ритмичность формируемых отложений: аллювиальных - в межледниковые эпохи и озерных - в ледниковые. С конца среднего неоплейстоцена происходит подъем территории, сопровождаемый ее расчленением, денудацией водоразделов и формированием долинного комплекса современной речной сети («Атлас Томской...», 2006»).

На современном облике рельефа Томской области сказывается влияние Западно-Сибирской равнины и, частично, Алтае-Саянского нагорья, выраженного локальным выступом складчатого фундамента. Основными объектами геоморфологического картографирования на территории области являются речные долины с сериями надпойменных террас и водораздельные пространства, осложненные системами поднятий и понижений. Приводимая геоморфологическая карта отражает характерные особенности рельефа - возраст, генезис и морфологию выделенных уровней.

Ведущие экзогенные факторы рельефообразования определяют развитие на территории области основных типов рельефа: денудационно-аккумулятивного, водно-ледникового, фитогенного аккумулятивного и эолового. Денудационно-

аккумулятивный рельеф на территории Томской области представлен шестью геоморфологическими уровнями - это разновозрастные водораздельные равнины, причлененные и наложенные друг на друга. Возраст геоморфологических уровней равнин изменяется от ранненеогенового до среднелепистоценового. Фрагменты денудационно-аккумулятивного рельефа характерны для верховьев рек Васюгана, Ларьегана, Долгоуна, правобережья р. Оби в пределах Кетско-Тымской, Чулымской, Приаргинской наклонных равнин, правобережья рек Чаи, Шегарки, долины р. Оби на участках Нарымского и Колпашевского Приобья. Водораздельные равнины отличаются характером своих поверхностей и строения. Для фрагментов ранненеогеновых и плиоценовых аллювиально-озерных равнин свойственны пологоувалистые формы с расчлененностью их поверхности реками и балками. Неровная, местами заболоченная поверхность отличает рельеф аллювиально-озерной равнины эоплейстоценового возраста, сформированной отложениями кочковской свиты («Атлас Томской.., 2006»).

Наиболее распространена эоплейстоцен-раннелепистоценовая равнина, которая сложена озерно-аллювиальными осадками смирновской свиты и в основании содержит галечники кочковской свиты. Поверхность этой равнины неоднородна: увалистые участки чередуются с плоскими, пологоувалистыми. Крутые склоны рек, расчленяющих равнину, изрезаны оврагами. Ранне-среднелепистоценовая водораздельная равнина, выделенная на юго-востоке области, сформирована озерно-аллювиальными и озерными отложениями федосовской свиты. Равнина отличается увалистой, местами пологоволнистой и слабо заболоченной поверхностью с развитием блюдцеобразных западин суффозионного происхождения. Для среднелепистоценовой равнины, сложенной глинистыми песками и глинами сузгунской толщи, характерна заболоченная плоская поверхность.

Водно-ледниковый рельеф представлен сетью древних ложбин стока, расположенных в пределах междуречий Оби и Енисея, Оби и Томи, Оби и Чулыма, а также в долине р. Чузика. Наиболее крупными из них являются Тымская и Кетско-Орловская. Ложбины стока имеют сквозной характер,

пересекают водораздельные равнины разного возраста и современные речные долины, обрываясь долиной р. Оби. Многие из ложбин стока унаследованы современной гидросетью (рр. Тым, Пайдугина, Кеть, Орловка).

Фитогенный аккумулятивный рельеф обязан своим образованием процессам заболачивания и торфонакоплению. Аккумуляция биогенного материала нивелирует первичные неровности дна болот. Образуется наложенный микрорельеф биогенного типа, перекрывающий поверхности разного генезиса.

Эоловый рельеф, характерный для юго-востока области, подразделяется на современный и древний. Современные формы этого рельефа развиты локально. Они приурочены к песчаным косам на поймах рек, к обнажениям песчаных пород в местах антропогенной деятельности (вырубки, гари и др.). Древние эоловые образования имеют позднеплейстоцен-голоценовый возраст и занимают большие пространства на поверхности высоких террас, ложбин стока и междуречий. Они выражены наложенными формами рельефа - песчаными буграми, дюнами, котловинами выдувания («Атлас Томской.., 2006»).

На территории области широко развиты экзогенные геологические процессы, из которых наиболее опасными являются овражная и речная береговая эрозия, оползне- образование, суффозия и осыпи. Экзогенные процессы в той или иной степени являются рельефообразующими, поэтому оценка динамики их проявления неотрывна от характеристики современного рельефа.

2.3. Полезные ископаемые и перспективы минерально-сырьевой базы

Минерально-ресурсный потенциал недр Томской области составляют нефть и газ, металлические и неметаллические полезные ископаемые, бурые угли, торф, подземные воды («Атлас Томской.., 2006»).

Томская область традиционно сохраняет за собой статус ресурсодобывающей. Важнейшим фактором развития экономики, обеспечивающим основную долю налоговых поступлений в бюджет, остается нефтегазовый комплекс. Область располагает значительными ресурсами нефти и

газа, сложившейся инфраструктурой нефтяной промышленности и формируемой инфраструктурой газовой промышленности. По прогнозам специалистов, эти отрасли могут быть ведущими в экономике области до 2030 г.

Помимо углеводородного сырья, область богата титан-циркониевыми и железными рудами. В ее недрах содержатся также бокситы, полиметаллы, золото, неметаллические полезные ископаемые, бурые угли, торф, подземные воды (рисунок 12). Невысокая степень их современного освоения создает дополнительный резерв в сырьевом потенциале на будущее.

Важнейшим энергетическим сырьем, обеспечивающим наибольшие уровни пополнения областного бюджета и притока инвестиций в экономику, являются углеводороды. Область входит в состав Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции и относится к ведущим регионам России по добыче нефти газа.

Из твердых полезных ископаемых минерагеническую специализацию области определяют месторождения титана и циркония, проявления и зоны минерализации железных руд, марганца, алюминия, золота, сурьмы, полиметаллов, а также урана, металлов платиновой группы и других элементов, связанных с вторичными (эпигенетическими) процессами рудообразования.

Область располагает большими ресурсами титан-циркониевых и осадочных железных руд, составляющими основу для развития ее горнодобывающей и перерабатывающей отраслей («Атлас Томской.., 2006»).

Титан-циркониевые руды представлены циркон-ильменитовыми россыпями в прибрежно-морских и континентальных отложениях мел-палеогенового возраста, которые входят в Западно-Сибирскую циркон-ильменитовую россыпную провинцию. В ее пределах, по В.А. Даргевич, выделяются перспективные площади, сопоставляемые с рудными и рудоносными узлами: Обь-Чулымским, Тымским, Кетско-Пайдугинским, Кёнга-Бакчарским, Ильякским, Нюрольско-Чижапским и Кийско-Чулымским (Рихванов и др., 2001; Гринев, 2005).

ильменитовый и лейкоксеновый концентраты, а также нерудные компоненты: кварцевый песок и каолин. Попутно из цирконового концентрата возможно извлечение гафния, из ильменитового - ванадия. К ценным компонентам относятся содержащиеся в рудных минералах скандий и лантаноиды, включая La, Ce, Sm, Yb, Lu. На Южно-Александровском участке детально разведанного Туганского месторождения в настоящее время ведется опытная добыча с проектными объемами переработки рудных песков 120 тыс. т в год. На площади выявленного Георгиевского месторождения выполнено доизучение рудных песков применительно к технологии скважинной гидродобычи (Черняев и др., 2001).

Проявления железных руд входят в состав Западно-Сибирского железорудного бассейна, охватывающего в пределах области полосу железоносных прибрежно-морских отложений мела и палеогена от истоков рек Парабели, Чаи, Шегарки на юге до бассейна р. Тым на севере. Площадь бассейна на территории области около 80 тыс. км² с оцененными прогнозными ресурсами железных руд 85,9 млрд. т. В стратиграфическом разрезе выделяется до четырех горизонтов ожелезненных песчаников: нарымский - в кровле ипатовской свиты, колпашевский - в основании ганькинской свиты, тымский - в основании талицкой свиты и бакчарский - в основании люлинворской свиты. Ширина железорудного пояса по наиболее древнему нарымскому горизонту достигает 260 км, по более молодому бакчарскому не превышает 80 км (Гринев, 2005).

Железные руды представлены линзами оолитовых гётит-гидрогётит-лептохлоритовых пород с содержанием более 30 % валового железа. Линзы формируют рудные узлы, важнейшими из которых являются Бакчарский, Колпашевский, Парабель-Чузикский и Парбигский. По степени изученности первые два из них многими исследователями относятся к рангу месторождений (Бабин и др., 1970; Рудмин, 2014).

Присутствие марганца установлено в отложениях палеозоя Колывань-Томской складчатой зоны и среди палеогеновых отложений платформенного чехла. Его фоновое содержание составляет от сотых и десятых долей процента.

Повышенная марганценосность (0,3-0,5 %) свойственна глинам эоценовых отложений и часто сопутствует железным рудам, в особенности рудам нарымского и колпашевского горизонтов. Предельно высокие концентрации марганца, достигающие 10,2-25,8 %, характерны лишь для единичных прослоев в отложениях талицкой и люлинворской свит. Выявляется общая закономерность локализации, повышенной марганценосности в палеогеновых отложениях впадин и прогибов.

В качестве высшего минерагенического таксона по марганцу выделяется Западно-Томский потенциальный марганценосный пояс, охватывающий западную часть Томской области. В состав пояса входят Васюганский и Чижапский потенциальные рудоносные районы.

Проявления золота, алюминия (бокситов), полиметаллов, сурьмы ограничиваются юго-востоком области. Оценки промышленных перспектив этих металлов, кроме золота, невысокие.

Бокситы на территории области генетически связаны с латеритной корой выветривания и продуктами ее переотложения. Бокситоносные площади представлены небольшими проявлениями низкосортных бокситов карстового типа. Наиболее перспективной для локализации бокситов признана площадь с верхнерифейскими образованиями, выходящими в эрозионном срезе фундамента на левобережье р. Яя у с. Новорождественское, где выявлены две бокситовые залежи, получившие наименование Татульского рудопроявления. Прогнозные ресурсы основной залежи 9,9 млн. т, меньшей залежи - 1,6 млн. т. («Атлас Томской...», 2006»).

Концентрации сурьмы на территории области связаны с проявлениями золото-сурьмяной минерализации, сопровождаемой шлиховыми ореолами и лито- и гидрогеохимическими аномалиями. Проявления контролируются Коларово-Семилуженской системой разломов. Мощность минерализованной зоны дробления на наиболее изученном Семилуженском рудопроявлении 40-60 м. Оруденение локализовано в сланцах нижнего карбона и характеризуется крайне неравномерным распределением. В первичном состоянии антимонитовые жилы

не установлены. Рудные тела представлены обломками кварца и сланцев, цементируемыми антимонитом. Содержание сурьмы составляет от 0,98 до 21,4 %, запасы - 0,24 т. Прогнозные ресурсы сурьмы в пределах всего рудного поля оцениваются до 3 тыс. т.

Известные проявления золота в основном сосредоточены в пределах Колывань-Томской складчатой зоны. Они представлены золотокварцевым, в меньшей степени золото-сурьмяным оруденением и аллювиальными россыпями, объединяемыми в составе Томского потенциального золоторудного района. Суммарные прогнозные ресурсы золота в пределах Тугояковского, Ушайского, Копыловского, Колбихинского золоторудных и Ташминского золотополиметаллического узлов, по оценке Е.В. Черняева, составляют 105 т. (Черняев 2000).

Из золоторудных объектов наиболее перспективно Батуриновское проявление, связанное с зонами дробления алевросланцевых пород карбона. Рудоносная зона представлена штокверком, прослеженным на глубину до 220 м. Содержание золота 0,2-17 г/т, установлено присутствие серебра и платины. Прогнозные ресурсы золота оцениваются в 5,3 т. Рудопроявление сопровождается комплексным первичным ореолом рассеяния Au , As , Hg , Si , W (Мазуров и др., 2005; «Атлас Томской.., 2006»).

Проявления золотоносных россыпей установлены в аллювии рек Томь-Яйского междуречья и в отложениях долинного комплекса р. Томи. Как попутный компонент, золото положительно оценено при разработке русловых и пойменных месторождений песчано-гравийных смесей. Определенные перспективы на россыпное золото в области связаны с изучением мел-палеогеновых кор выветривания.

В аллювии платформенного чехла наличие мелкого золота отмечено при геолого-съемочных работах по рр. Бол. Юксе, Долгоуну, Улу-Юлу, Тыму. Надежные признаки россыпной золотоносности в бассейне Тыма позволяют выделить Ванжиль-Рассомахинскую потенциально золотоносную зону, частично охватывающую север области. Присутствие золота установлено шлиховым

опробованием в отложениях эоцена и верхнего олигоцена. Предположительно, золотоносность связана с размывом более богатых россыпей, расположенных в предгорьях Енисейского кряжа.

Сопряженность с зонами тектонической активизации определяет предпосылки для выявления на территории Томской области уранового оруденения.

С мезозойской эпохой на крайнем юго-востоке области соотносится ураноносный фрагмент Урало-Енисейского рудного пояса. На сопредельных площадях выделяются ураноносные и потенциально ураноносные районы, для которых свойственны накопление и перераспределение урана и сопутствующих элементов в раннемеловую эпоху аридизации климата.

Другой ураноносный фрагмент, охватывающий юго-восточную часть области, принадлежит Кулундино-Енисейскому новейшему потенциальному рудоносному поясу, связанному с выклиниванием зон пластового (грунтового) окисления в отложениях верхнего мела, эоцена и нижнего олигоцена. Возможные перспективы проявления наложенной ураноносности и сопутствующей металлоносности обусловлены развитием устойчивого подземного стока от Томского выступа и отрогов Кузнецкого Алатау к долинам рек Томи и Оби.

С северо-запада к Кулундино-Енисейскому поясу примыкают рудоносные площади Кеть-Тымского междуречья, районированные по условиям формирования зон пластового и грунтового окисления на потенциальные рудоносные зоны: Пайдугинскую, Кеть-Тымскую, Кеть-Обскую и Лымбельскую. Выделенные зоны связаны с развитием желтоцветных песков и песчаников в проницаемых горизонтах верхнего мела-палеогена, которые могут быть поисковым критерием для региональных зон грунтового и пластового окисления.

Не исключаются проявления металлоносности, связанной с низинными торфяниками, сапропелями и сапропелитами. В пределах распространения битуминозных пород баженовской свиты (баженовитов) и ее аналогов выделяется фрагмент Центрально-Западно-Сибирской провинции металлоносных морских сапропелитов. Баженовиты содержат высокие концентрации U, Mo, Si, Ni, Se и

других элементов, обусловленные низкой степенью разубоживания биогенного вещества, являющегося своеобразным фиксатором рудных элементов в процессе осадконакопления (Замирайлова, 2004).

Озерные сапропели в четвертичных отложениях, содержащие биологически активные вещества, макро- и микроэлементы, можно рассматривать современными аналогами металлоносных баженовитов. С учетом их возможных перспектив на схеме минерагенического районирования вынесен фрагмент потенциальной рудоносной полиэлементной провинции современных сапропелевых озер и низинных торфяников. Определенный интерес вызывает металлоносность, обусловленная с развитием наложенных восстановительных процессов. В границах Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна на территории области выделяется фрагмент потенциальной рудоносной полиэлементной провинции, связанной с миграцией Pb, Zn, Cu, V, Ni, Co и других элементов.

На ряде нефтепоисковых площадей в коре выветривания палеозоя и в основании юрской толщи установлены повышенные содержания, а также отмечено накопление над нефтегазовыми залежами урана.

Непосредственно к южным границам Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна примыкает фрагмент выделенного Тобольско-Кетского халько-сидерофильного геохимического пояса. Минерагеническое значение этого пояса, по Г.М. Шору, заключается в установленном наличии на территории области ряда локальных структур с былой нефтегазоносностью и накоплении в зонах водонефтяных и газоводных контактов этих структур V, Ni, Co, Cu и других элементов.

Достаточно перспективно выделение Томско-Обской потенциальной рудоносной области, основанное на анализе изучения урановых месторождений в сопредельных районах. В результате наложенных восстановительных процессов может происходить перераспределение уранового оруденения и формирование ассоциаций сидерофильных и халько-сидерофильных элементов (Cr, Ni, Co, Zn и др.). Выявление таких ассоциаций реально в районе очага разгрузки пластовых и

трещинно-жильных подземных вод мезозойско-кайнозойского чехла и доюрского основания на юго-востоке области, в низовьях р. Томи.

Неметаллические полезные ископаемые, являющиеся сырьевой базой предприятий местной перерабатывающей промышленности, представлены индустриальным сырьем и строительными материалами. Месторождения индустриального сырья пространственно тяготеют к участкам неглубоко погруженного фундамента на юго-востоке Томской области. Наиболее представительными видами из этой группы полезных ископаемых являются тугоплавкие глины, каолин и кварцевые стекольные пески. Месторождения строительных материалов распространены значительно шире. На прилагаемой карте минерально-сырьевых ресурсов они, как объекты территориального учета, наряду с месторождениями торфа и пресных подземных вод, не показаны («Атлас томской...», 2006»).

По торфяным ресурсам область занимает второе место в России. Используются они крайне ограниченно, как и другие образования озерно-болотистого генезиса - фосфаты, карбонаты и сапропель.

Мало изучены и практически не востребованы в области бурые угли, которые представляют собой ценное химико-технологическое и энергетическое сырье. Из буроугольных месторождений к числу наиболее перспективных объектов для промышленного освоения относятся Таловское и Туганское (вскрыша россыпи.).

2.4. Техногенная нагрузка

Северо-западная и Северная часть Томской области испытывает воздействие главным образом от нефтегазодобывающей промышленности, но основные промышленные объекты расположены на юге Томской области. Большая часть предприятий расположена в двух промышленных городах Северск и Томск, где живет большая часть населения области.

Основным узлом, влияющим на экологические проблемы Томского района, охватывающим территорию площадью примерно 500 км², является Северный промышленный узел (СПУ) (Рихванов, 1997). Влияние города на изменение состава атмосферного воздуха, по данным атмогеохимической съемки, можно проследить на несколько десятков километров (Язиков, 2006, Шатилов, 2001;).

В зоне воздействия предприятий Томска и Северска сложилась техногенная геохимическая «субпровинция», характеризующаяся высокими уровнями накопления ряда химических элементов и определяющая принадлежность различных производств (Язиков, 2006).

К одним из мощнейших источников загрязнения атмосферного воздуха относятся котельные, большая часть которых работает на угольном топливе, а также автомобильный транспорт. На территории Томской области находится 9 предприятий электроэнергетики и примерно 200 котельных. Одним из крупнейших источников центрального теплоснабжения г. Томска является ГРЭС-2.

Валовые вещества, поступающие в атмосферный воздух от объектов топливно-энергетического комплекса, занимают второе место после автотранспорта и оказывают влияние на геоэкологическую ситуацию и на окружающую среду (Адам, 2002). Одним из крупнейших источников загрязнения атмосферы в г. Северске является ТЭЦ, которая работает в основном на угле Кузбасса, который, в свою очередь характеризуется высокими содержаниями РЗЭ, иттрия скандия, а целый ряд углей Кузнецкого бассейна содержит высокие концентрации тория и урана (Арбузов и др., 2000).

Таким образом, исследуемая территория характеризуется сложным геологическим строением, что в некоторой мере формирует элементный состав донных отложений. Также одну из важнейших ролей в формировании элементного состава донных отложений играет воздействие предприятий Томска и Северска, из-за которых формируется техногенная геохимическая «субпровинция», характеризующаяся высокими уровнями накопления ряда химических элементов.

ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ

3.1. Опробование и пробоподготовка

Изучение донных осадков малых водоемов юга Томской области проводили в три этапа:

- 1) анализ проб, отобранных в 2001-2003 гг (Бернатонис В.К, Архипов В.С, Кудашев И.Г.);
- 2) опробование озер;
- 3) химический анализ проб, обработка полевых результатов и аналитических исследований.

Первый этап работы включал в себя сбор имеющейся информации, пробоподготовка проб к анализу обобщение всех имеющихся данных по донным отложениям.

Второй этап заключался в обследовании озер, проводился в период с 2005 по 2018 год. В процессе выполнения работы были исследованы пробы из 46 водоемов Томского района, 50 водоемов Кожевниковского, 59 водоемов Кривошеинского, 40 водоемов Зырянского, 6 водоемов Бакчарского, 68 водоемов Асиновского и 30 водоемов Шегарского районов. Всего изучено 618 проб из 299 водоемов (рисунок 13).

На каждом пункте пробоотбора определялись географические координаты с помощью GPS «GARMIN» (погрешность ± 5 м), и осуществлялась его привязка на местности. Точки пробоотбора наносились на топографическую карту.

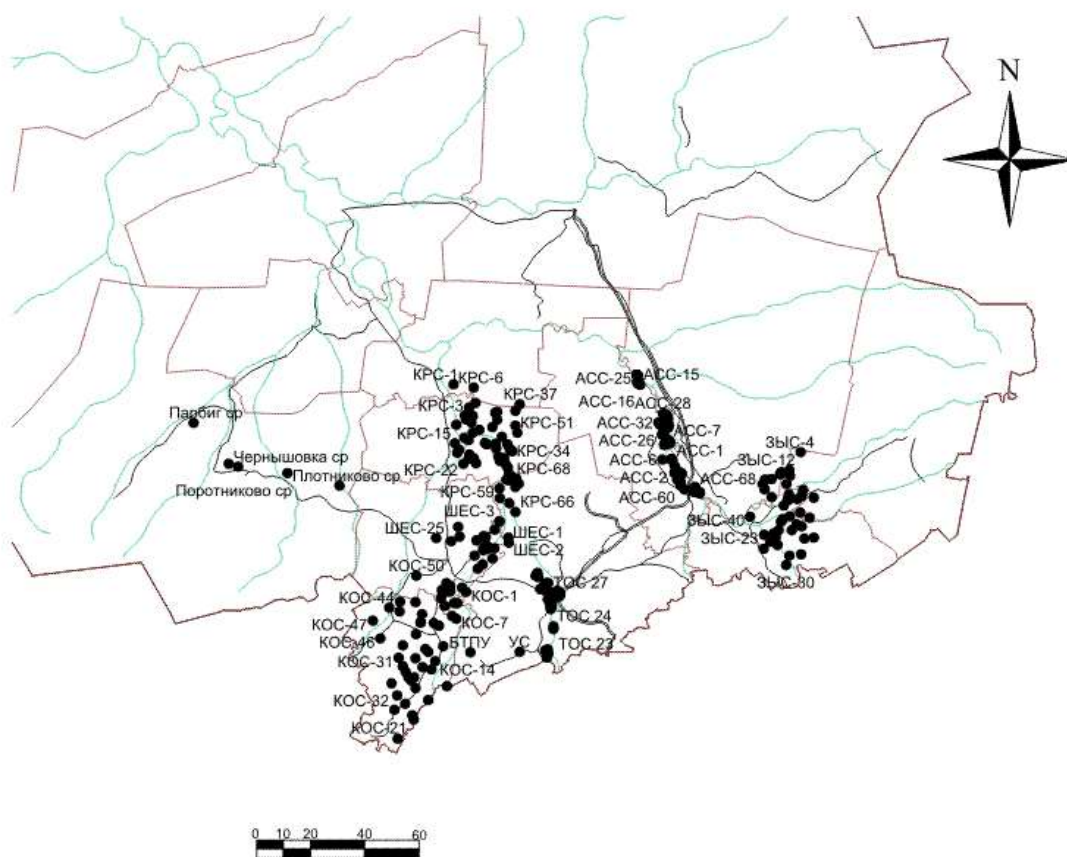


Рисунок 13 – Схематическая карта опробования водоемов на территории юга
Томской области

Отбор донных отложений производился в соответствии с требованиями (ГОСТ 17.1.5.01-80; РД 52.24.609-2013). В каждом изучаемом водоеме проводили опробование и зондирование донных отложений с помощью специального бура БС – 1 с пробоотборочным челноком длиной 50 и 100 см. Интервал отбора изменялся от 1,5 см до 1000 см., с учетом поставленной задачи. Для отдельно выбранных водоемов выполнены детальные вертикальные разрезы донных осадков с интервалом опробования от 1 до 10 сантиметров. Предварительно с использованием бура измеряли глубину воды. Затем определяли физические свойства донных отложений (включения, запах, цвет, консистенция), после чего пробы тщательно упаковывались и транспортировались в лабораторию. Затем шла просушка пробы и подготовка ее к анализу (рисунок 14).

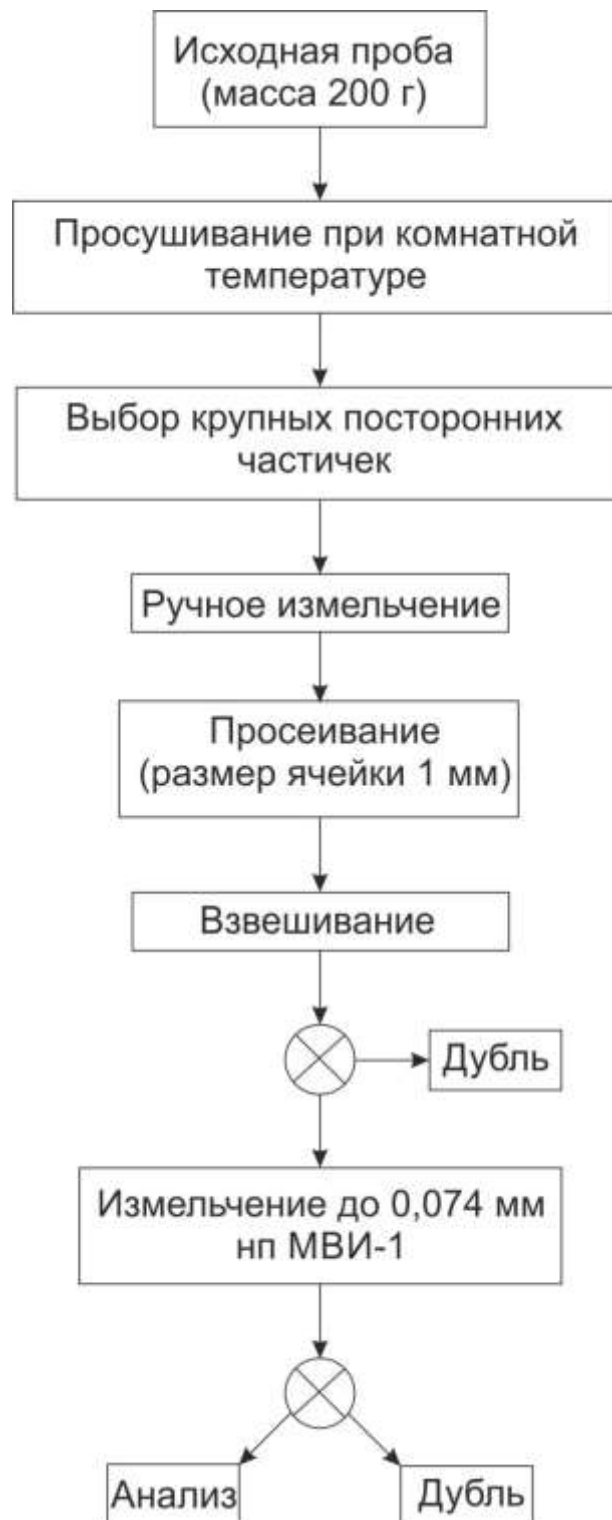


Рисунок 14 – Схема обработки и анализа проб донных отложений

3.2. Аналитические методы определения химических элементов в донных отложениях

Инструментальный нейтронно-активационный анализ

Для количественного определения химических элементов в донных осадках были применены современные ядерно-физические методы анализа. В качестве основного метода был выбран многоэлементный инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА), выполненный в учебно-научной лаборатории ядерно-геохимических исследований (кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета (аналитические исследования Судыко А.Ф. и Богутская Л.В.).

Пределы обнаружения элементов ИНАА приведены в таблице 4. В качестве контроля использовались стандартные образцы сравнения как отечественные, так и зарубежные (Судыко, 2016).

Таблица 4 – Пределы обнаружения содержаний элементов в различных объектах (горная порода, почва, растительность и др.) методом ИНАА (Судыко, 2016)

Элемент	Предел, мг/кг	Элемент	Предел, мг/кг
Na	20	Cs	0,5
Ca	300	Ba	3
Sc	0,002	La	0,007
Cr	0,1	Ce	0,01
Fe	10	Sm	0,01
Co	0,1	Eu	0,03
Ni	20	Tb	0,001
Zn	2	Yb	0,05
As	1	Lu	0,01
Br	0,3	Hf	0,01
Rb	0,6	Ta	0,05
Sr	1	Au	0,002
Ag	0,02	Th	0,01
Sb	0,007	U	0,01

Всего было изучено 28 элементов в сухой массе донных осадков, не учитывались Ag и Zn – ниже предела определения. Достоверность полученного аналитического материала подтверждается результатами интеркалибровок метода

ИНАА по многочисленным стандартным образцам сравнения (БИЛ – донные отложения оз. Байкал, SD – морские осадки, ЗУК-1 – зола угля и др.) (Судыко, 2004) (таблица 5).

Таблица 5 – Определение урана и тория в стандартных образцах методом ИНАА (Судыко, 2004)

Стандартный образец	Уран г/т		Торий г/т	
	Паспортные данные	ЯГЛ ТПУ	Паспортные данные	ЯГЛ ТПУ
Зола угля ЗУК-1 ГСО 7125-94	3,3±0,4	3,2±0,71	5,8±1,0	5,6±0,23
Байкальский ил Бил-1 ГСО 7126-94	12,0±1,1	12,0±0,83	12,7±1,3	12,7±0,34
Морские отложения IAEA 315	3,20 (2,40-3,50)	3,47±0,17	6,64 (6,24-6,92)	6,50±0,35
Морские отложения IAEA SD-M-2/TM	2,49 (1,44-3,5)	2,27±0,19	8,15 (7,2-9,1)	8,69±0,29
Гранат-биотитовый плагиогнейс ГБП-1	0,8±0,1	0,72±0,14	11,3±1,5	11,2±0,40

Проведенный нами внутренний контроль (пруд в деревне Осиновка) фиксирует хорошую сходимость элементов (рисунок 15), небольшие различия можно объяснить тем, что стали много меньше пределы обнаружения элементов и улучшилось качество аналитики, за счет появления новой аппаратуры.

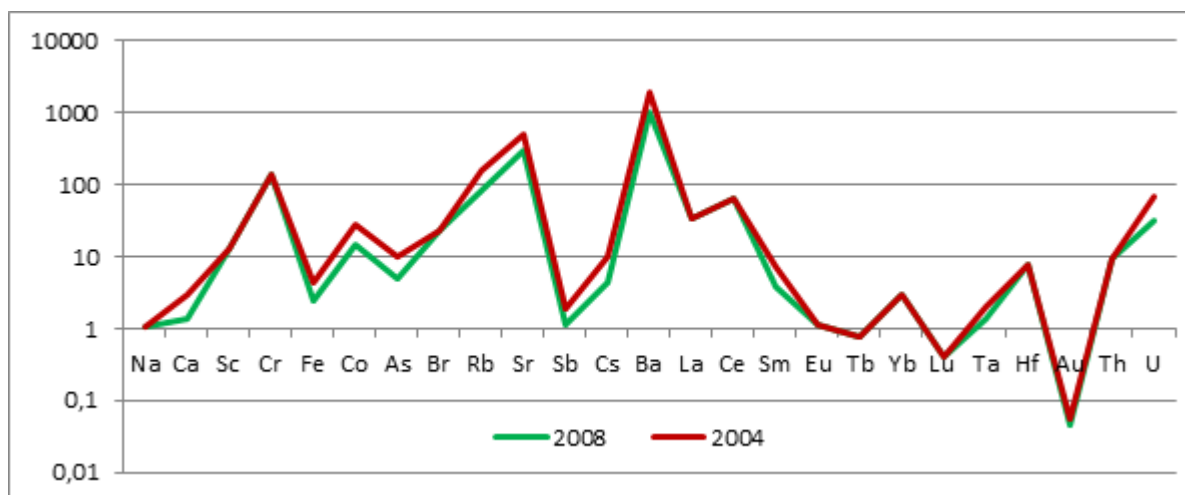


Рисунок 15 – Внутренний контроль ИНАА г/т (2004, 2008 года контроля)

Электронно-микроскопический анализ

Электронно-микроскопические исследования проводились на базе учебно-научной лаборатории электронно-оптической диагностики МИНОЦ «Урановая геология» кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета (консультант Ильенок С.С.). Метод электронной микроскопии является единственным прямым локальным методом визуализации морфологических и микроструктурных особенностей исследуемых объектов и их состав.

Наблюдения проводились на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с приставкой для микроанализа (рисунок 16).



Рисунок 16 – Сканирующий электронный микроскоп

Атомно-абсорбционный метод.

Определение содержание ртути в донных отложениях проводили на анализаторе ртути РА 915+ на базе учебно-научной лаборатории атомно-абсорбционной диагностики МИНОЦ «Урановая геология» кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета (консультант Н.А. Осипова, Е.А. Филимоненко) (Рисунок 17).

Метод основан на восстановлении до атомарного состояния содержащейся в пробе связанной ртути методом пиролиза и последующем переносе

образовавшейся атомарной ртути из атомизатора в аналитическую кювету воздухом. Приставка специально предназначена для анализа сложных проб, содержащих органическую матрицу.



Рисунок 17 – Ртутный анализатор «РА-915М/915+»

Навеска предварительно высушенных при комнатной температуре и измельченных до состояния пудры образцов донных отложений составляли $60,0 \pm 0,1$ мг. Границы относительной погрешности измерений составили 20-28 %.

Рентгеноструктурный анализ

Для определения минерального состава донных отложений применялся рентгеноструктурный анализ, который проводился в МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ на дифрактометре BrukerPhaserD2 (Рисунок 18). Были исследованы несколько проб донных отложений в различных минеральных типах: терригенный, карбонатный и торфянистый. Методика исследования основывается на явлении дифракции рентгеновских лучей.

Данный анализ является одним из основных методов определения кристаллической структуры, это обуславливается тем, что большинство кристаллов отличаются определенной периодичностью своего строения и могут

представлять для рентгеновских лучей созданную природную дифракционную решетку.

Работы выполнялись под руководством консультанта Д.Г. Усольцева и Б.Р. Соктоева.



Рисунок 18 – Общий вид дифрактометра BrukerPhaserD2

Лабораторная гамма-спектрометрия

Одним из основных методов, применяемых в настоящее время для анализа содержания радионуклидов в объектах окружающей среды, является низкофоновая гамма-спектрометрия с полупроводниковыми детекторами.

Спектрометр предназначен для определения радионуклидного состава и активности радионуклидов в пробах окружающей среды методами низкофоновой гамма-спектрометрии с полупроводниковыми детекторами в стационарных лабораторных условиях. Спектрометр располагается в полуподвальном проветриваемом помещении. Измерение проводилось в ОГУ «Облкомприрода»

Томской области, лаборатория отдела радиационной безопасности. Аналитики Ю.А. Громов, В.Б. Елагин. Определялись ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra и ^{232}Th .

Метод определения возраста в донных отложениях по ^{210}Pb .

Метод определения возраста с использованием изотопа ^{210}Pb широко применялся и применяется при изучении современных осадкообразований (возрастом до 130-150 лет), в том числе донных отложений.

Особенность методики заключается в том, что на поверхность земли из атмосферы осаждается ^{210}Pb (в составе аэрозолей), не подкрепленный материнскими радионуклидами (Титаева, 2000).

Возраст отложений определяют из уравнения (Титаева, 2000):

$$t = \frac{2,303}{\lambda_{210}} \lg \left(\frac{{}^{210}\text{Pb}_0}{{}^{210}\text{Pb}_t} \right)_A$$

где ${}^{210}\text{Pb}_0$ – активность Pb на земной поверхности,

${}^{210}\text{Pb}_t$ - активность Pb в исследуемом образце на глубине h.

В соответствии с законом радиоактивности, активность (Бк/кг) на определенной глубине выражается следующим образом (Miralles, 2004):

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

где t – возраст осадка;

λ – константа распада ^{210}Pb ($\ln 2/22,26 \approx 0,03114$ год⁻¹);

A_0 – активность на поверхности осадков.

^{210}Pb анализировался гамма-спектрометрическим инструментальным способом путем регистрации естественной рентгеновской линии 46,5 КэВ на планарном полупроводниковом детекторе с защитой от естественного излучения на основе особо чистых свинца и вольфрама, из навесок от 10 до 50 г, при строго выдержанной геометрии измерения (аналитические исследования М.С. Мельгунов).

Определение америция и радиоцезия

Определение удельной активности америция проводилось методом γ -спектрометрии по стандартной методике в Институте геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН (аналитические исследования М.С. Мельгунов).

Определение содержания ^{137}Cs проводилось на γ -спектрометрах с колодезными сцинтилляционными кристаллами NaI (Tl) размерами 200×200 и 150×150 мм. Нижний предел определения ^{137}Cs в этом случае составляет 0,01–0,03 Бк/кг.

3.3. Математическая обработка результатов

Математическая обработка данных аналитики проводилась при помощи Microsoft Excel и программного комплекса «Statistica». При статистической обработке полученных данных определялись следующие параметры: среднее значение, мода, стандартная ошибка, медиана, пределы значений, эксцесс, стандартное отклонение, дисперсия выборки, асимметричность, уровень надежности, интервал. При помощи тестов Колмогорова-Смирнова и Хи-квадрат проводилась проверка на нормальность распределения. Значимость отличий распределения от соответствующего нормального закона качественно определялись по уровню значимости (Боровиков, 2003): не значимые ($p \geq 0,1$), слабо значимые ($0,1 > p \geq 0,05$), статистически значимые ($0,05 > p \geq 0,005$), сильно значимые ($0,005 > p \geq 0,0005$), высоко значимые ($0,0005 > p$).

Для сравнительных характеристик рассчитывались коэффициенты парной корреляции Пирсона, по значениям которых были построены дендрограммы корреляционной матрицы.

«Ураганные пробы» в расчете средних содержаний элементов из общей выборки не учитывались, но в разбросах частных значений они показаны. Принадлежность «ураганных проб» к выборке определялась по формуле:

$$ti = [Xi - Xcp] / S$$

где t_i – критерий оценки, x_i – проверяемое значение, $\bar{x}$ – среднее значение по выборке, S – стандартное отклонение.

Показателем контрастности содержаний элементов является кларк концентрации (КК), который рассчитывается как отношение содержания элемента в объекте природной среды (С) к его кларку (K_ϕ):

$$KK = C / K_\phi$$

В качестве кларка было использовано среднее содержание химического элемента в осадочных породах по Григорьеву (2003).

Для выявления геохимических ассоциаций элементов в донных отложениях малых водоемов юга Томской области был использован метод корреляционного анализа (Ward's method) с помощью программы Statistica.

Графические материалы выполнялись с помощью следующих программ, таких как «CorelDRAW», «ArcGis». Карты распределения элементов в донных отложениях малых водоемов юга Томской области строились в программе ArcGis.

ГЛАВА 4. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОСАДКОВ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ ЮГА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Донные отложения малых водоемов юга Томской области отличаются по своим цветовым и структурно-текстурным характеристикам, что отражает их вещественный состав.

Среди изученных и отобранных проб нами выделено три типа донных отложений: терригенные, карбонатные, торфянистые, отличающихся между собой цветовой гаммой. Терригенные донные отложения представлены светло-серыми оттенками, карбонатные – светлые с включениями ракушечника и т.д., торфянистые – бурого, коричневого до черного цвета (Рисунок 19).

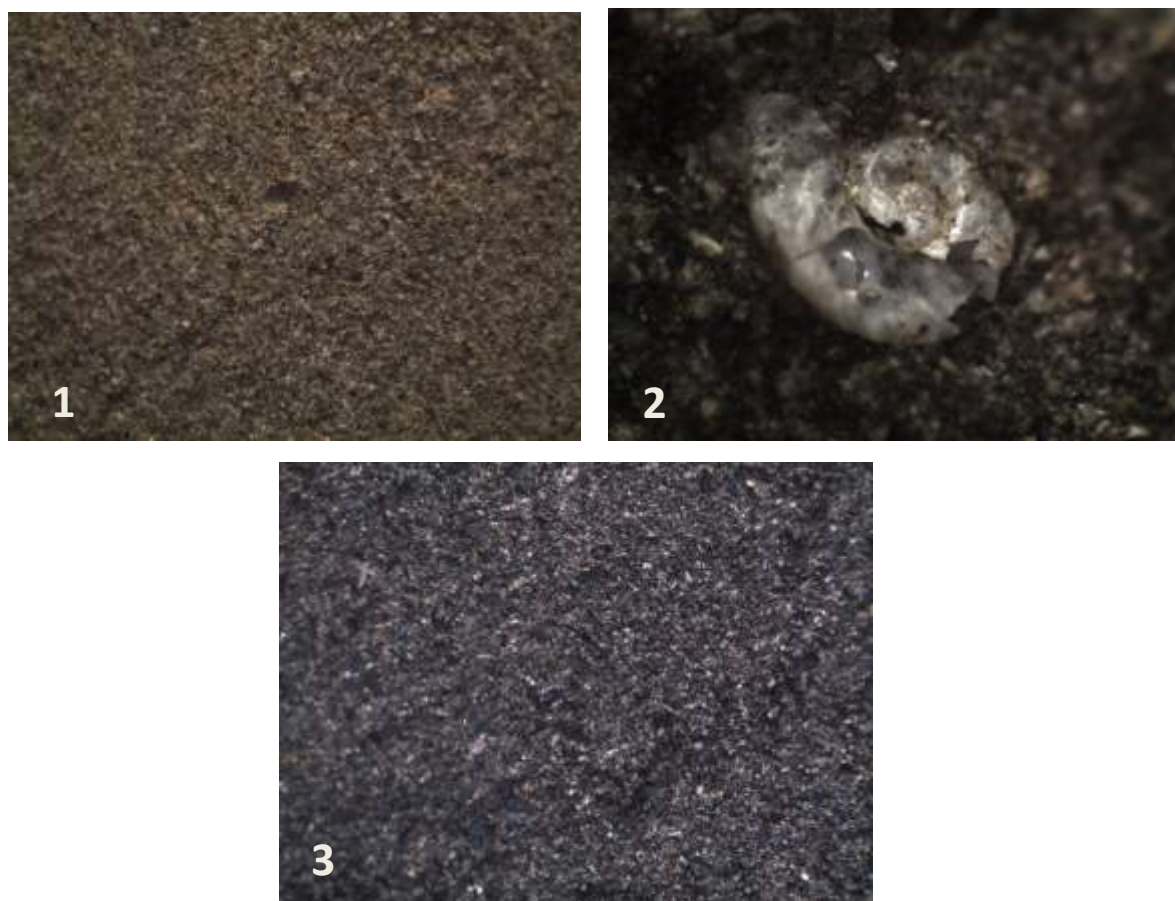


Рисунок 19 – Внешний вид донных отложений: 1- терригенный, 2 – карбонатный, 3 – торфянистый тип

Минеральный состав донных отложений, изученный при помощи рентгенофазового анализа, показывает, что терригенные отложения представлены кварцем, микроклином, альбитом и мусковитом, в меньшей степени клинохлором, рибекитом и кальцитом (рисунок 20). Карбонатные отложения представлены магниальным кальцитом (рисунок 21), а в торфянистых отложениях преимущественно выделяются кварц и мусковит, в меньшей степени альбит, микроклин, клинохлор и вермикулит (рисунок 22).

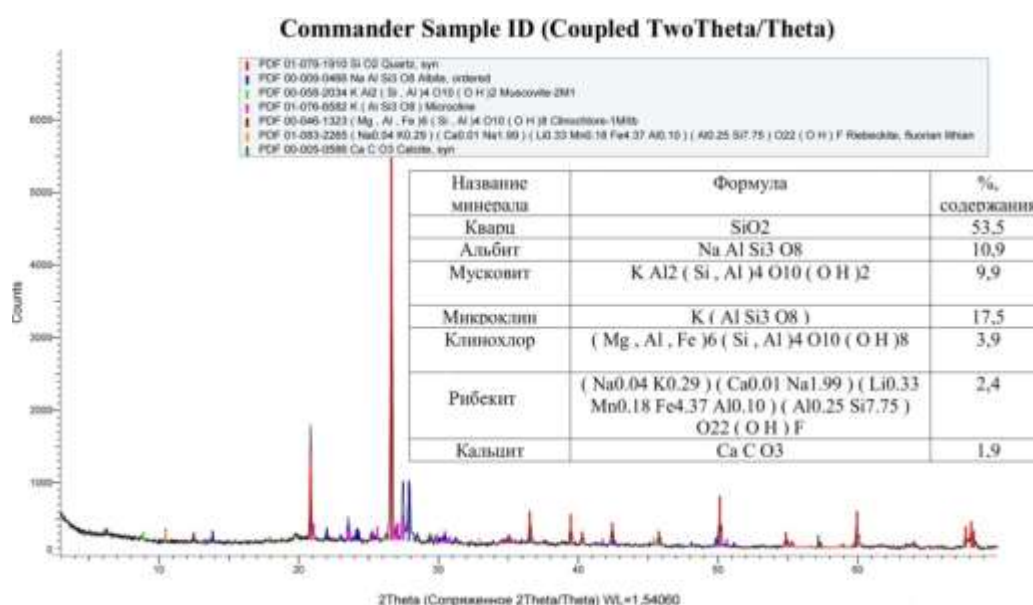


Рисунок 20 – Результаты анализа проб донных отложений озера Песчаное (с. Тимирязевское)

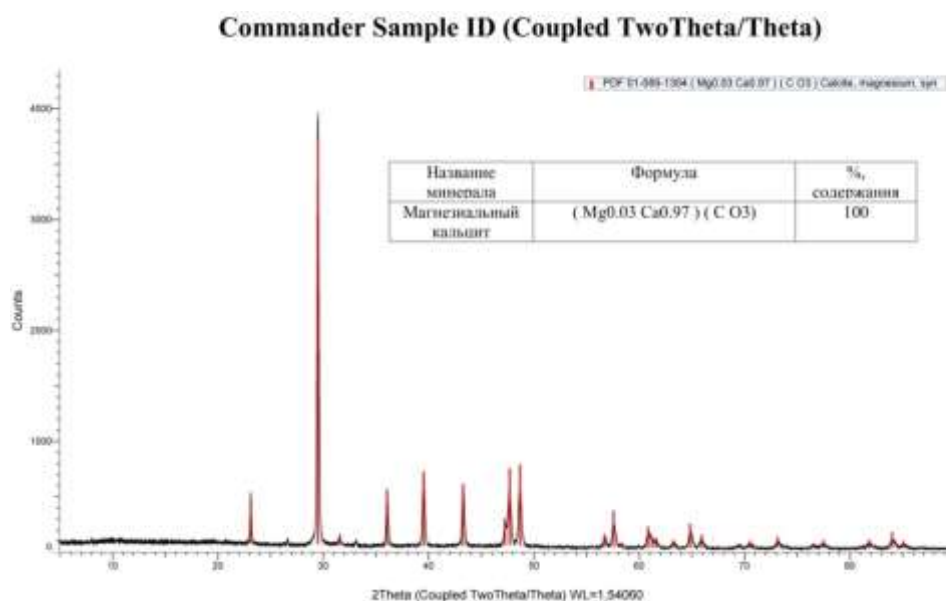


Рисунок 21 – Результаты анализа проб донных отложений озера Кирек

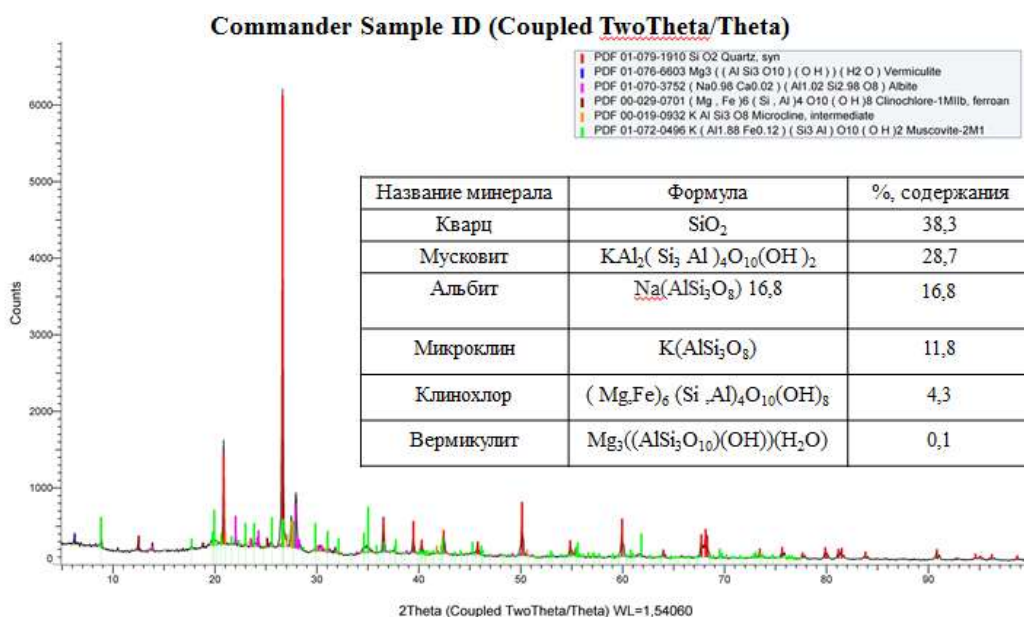
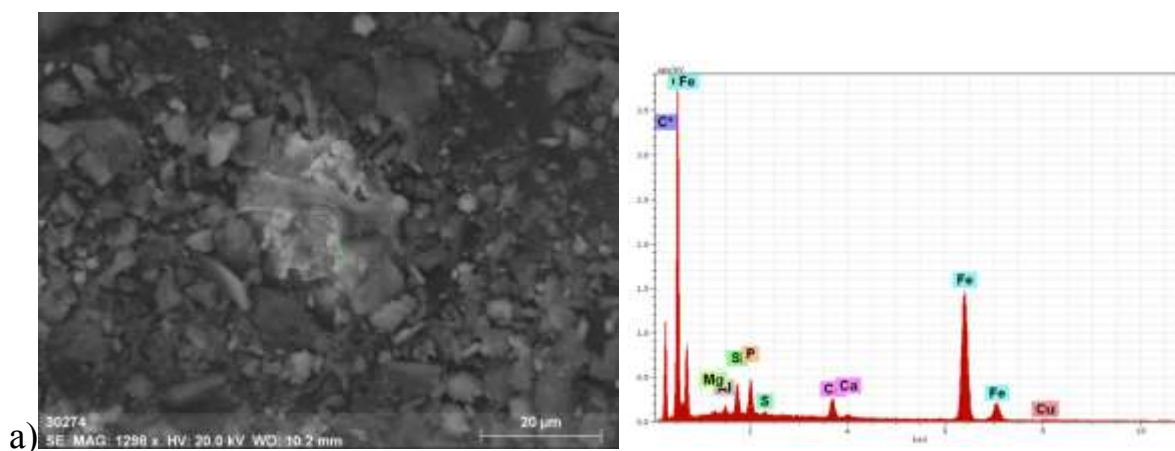


Рисунок 22 – Результаты анализа проб донных отложений озера Ларино

Для изучения микрочастиц, представленных тяжелой минеральной фазой, донные отложения изучались на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с приставкой для микроанализа. В результате анализа были диагностированы минеральные фазы, представленные в терригенном типе донных отложений окислами железа аморфной формы размером 10-30 мкм, (рисунок 23а) сферулами сульфида железа (пирит?) 7-10 мкм (рисунок 23б), кроме этого встречались сульфаты бария и.т.д.



окончание рисунка 23

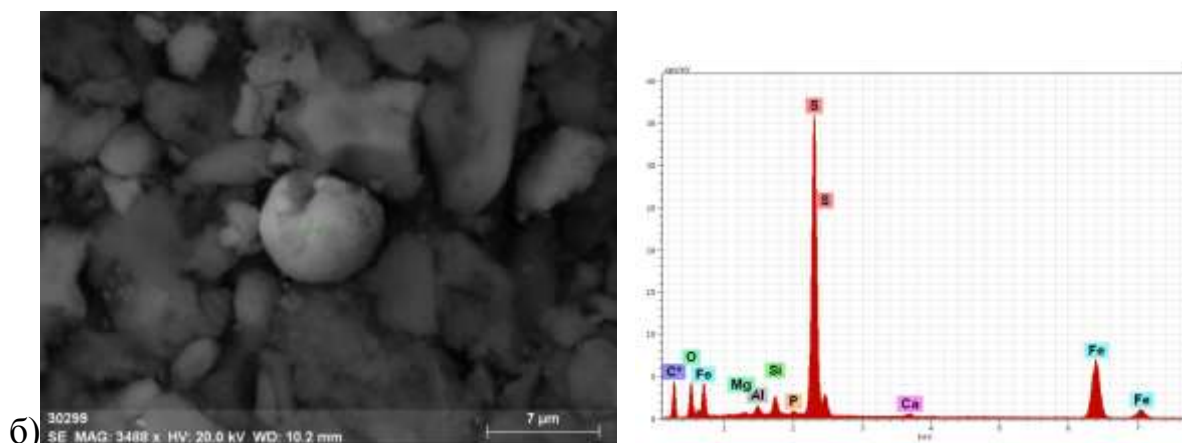


Рисунок 23 – Результаты электронной микроскопии в терригенном типе донных отложений. Озеро Песчаное: а) окислы железа аморфной формы; б) сульфид железа (пирит?)

В карбонатных отложениях диагностированы фосфаты редких земель, размером 2-4 мкм (рисунок 24а), оксиды железа (рисунок 24б), были обнаружены оксиды титана.

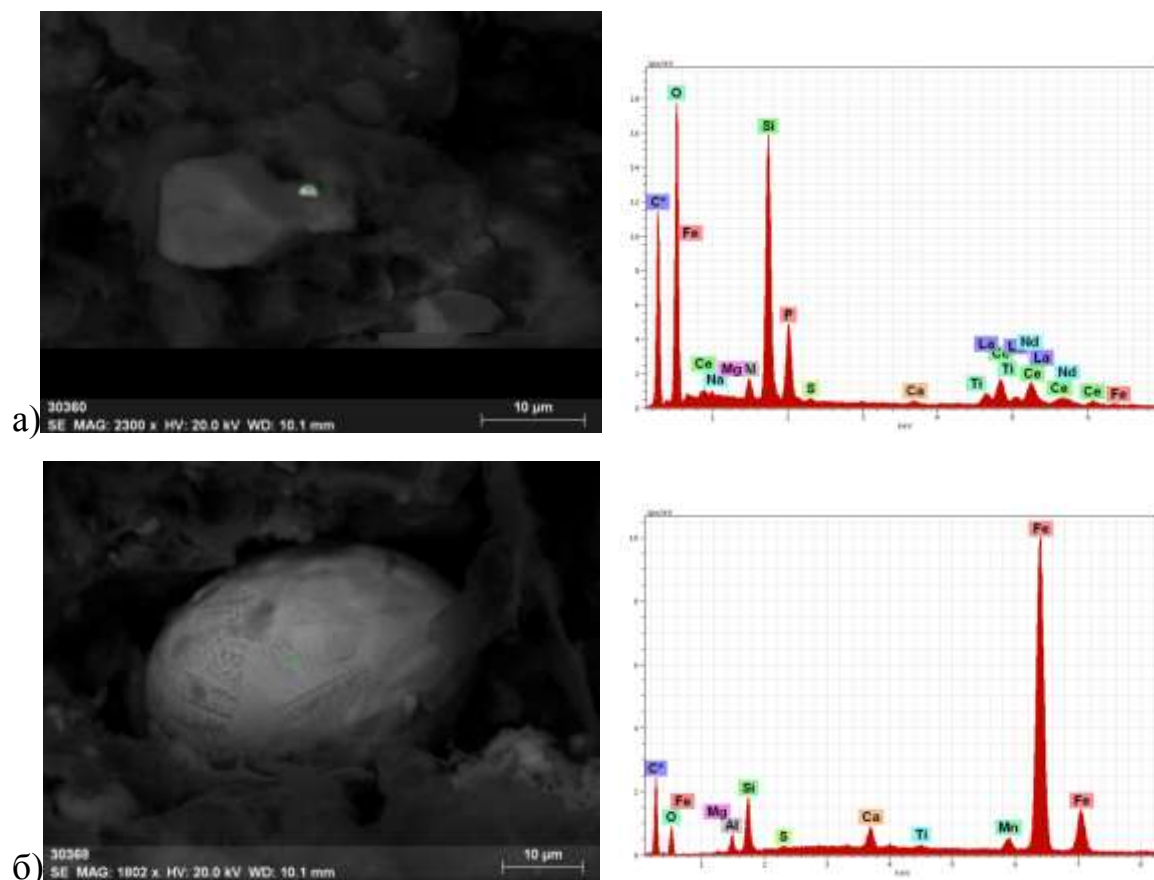


Рисунок 24 – Результаты электронной микроскопии в карбонатном типе донных отложений. Озеро Кирек: а) фосфаты редких земель; б) оксид титана

Торфянистый тип донных отложений представлен следующими акцессорными минералами: цирконом удлиненной формы, размером 30-50 мкм (рисунок 25а), оксидами железа (рисунок 25б), также были обнаружены фосфаты редких земель, сферулы пирита, оксиды титана. Также в торфянистом типе донных отложений встречаются диатомовые водоросли (рисунок 25в)

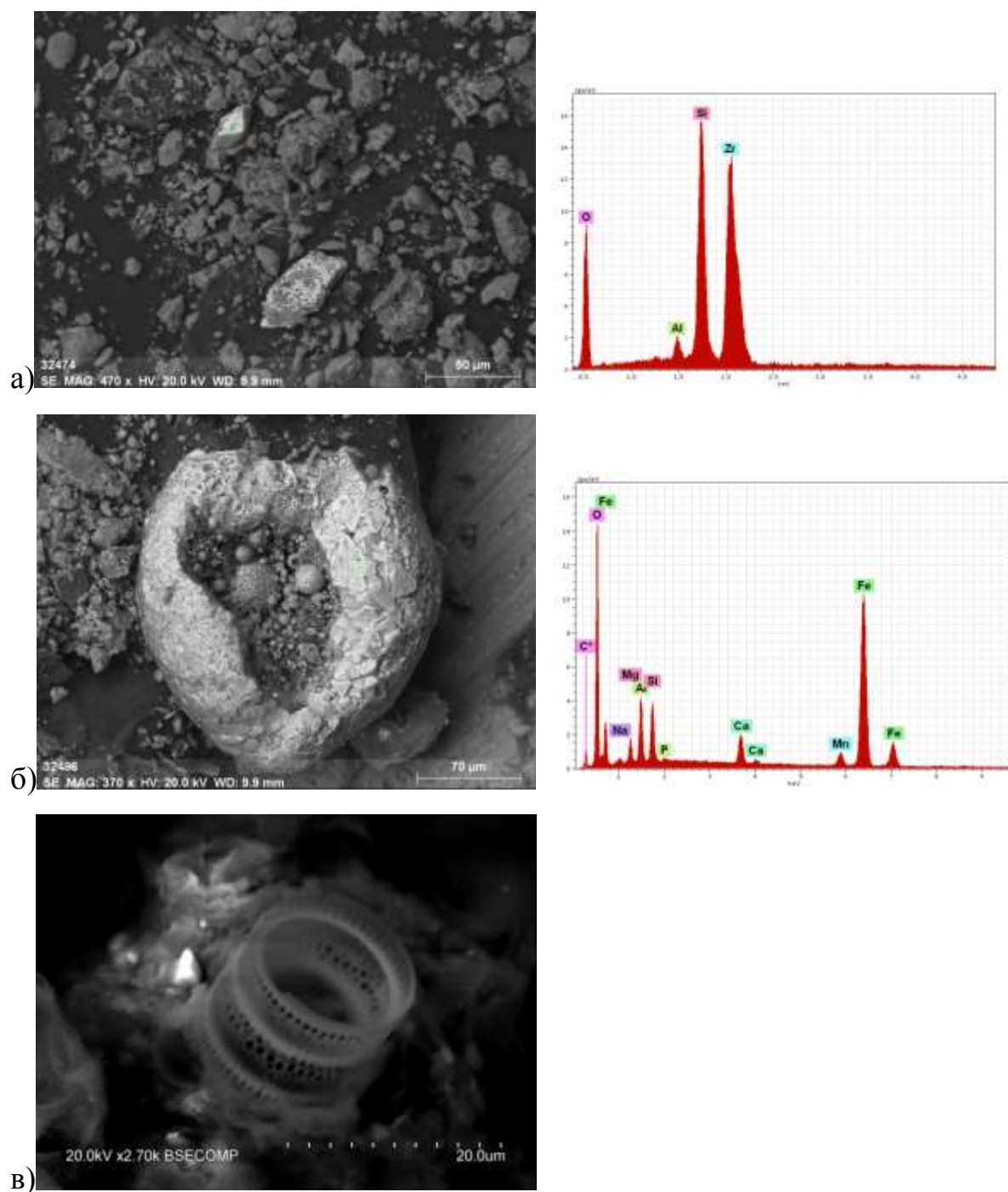


Рисунок 25 – Результаты электронной микроскопии в торфянистом типе донных отложений. Озеро Ларино: а) циркон удлиненной формы; б) оксид железа; в) диатомовые водоросли

Таким образом, можно констатировать, что донные осадки малых водоемов юга Томской области делятся на три типа: терригенные, карбонатные и торфянистые. Минеральная составляющая донных отложений представлена преимущественно кварцем, кальцитом, альбитом и др. С помощью качественных электронно-микроскопических исследований было установлено наличие в донных осадках таких элементов, как Fe, S, Zr, Ca, РЗЭ и др.

Терригенный тип донных отложений более распространен в изученных водоемах юга Томской области, относительно двух других типов. Меньшей распространенностью характеризуется торфянистый тип на изучаемой территории.

По минеральной составляющей терригенный тип представлен: оксидами и сульфидами железа, сульфатами бария и т.д., карбонатный тип: фосфатами редких земель, оксидами титана, торфянистый тип: оксидами железа, сферулами пирита, фосфатами редких земель, оксидами титана.

Кроме того, наличие пирита, наряду с наличием в осадках органического вещества указывает на восстановительную сероводородную обстановку, ограничивающую миграцию большинства токсичных металлов. Низкая миграционная способность многих токсичных металлов в таких условиях позволяет использовать донные отложения малых водоемов в качестве надежного индикатора изменения состояния окружающей среды.

ГЛАВА 5. СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ ЮГА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

5.1. Основные закономерности распределения химических элементов в донных осадках

Динамичная деятельность человечества за последние десятки лет привела к значительным изменениям окружающей природной среды. Использование донных осадков малых водоемов юга Томской области в качестве депонирующей среды для оценки состояния природной среды является одной из важнейших задач.

Первая оценка содержания элементов в сапропелях ряда водоемов юга Томской области, была сделана И.Г. Кудашевым в 2004 году в его диссертации *«Сапропели Томской области: геология, генезис, ресурсы и перспективы их использования»*. Акцент диссертации был сделан на изучение геологии, генезиса и состава сапропелей юга Томской области с возможностью оценить прогнозные ресурсы сырья для возможности его использования в сельском хозяйстве. В качестве исследуемого материала были использованы высокоминерализованные сапропели (А = 85-95 %) (Бернатонис, 2002; Кудашев, 2004). В связи с тем, что исследования выполнялись для ограниченного массива данных (изучались только высокоминерализованные сапропели с зольностью 85-95 % от всего разнообразия донных отложений юга Томской области) и изучен ограниченный спектр элементов в них, задача оценки индикаторной роли донных отложений в результате этих работ не была решена.

В наши задачи входила оценка среднего содержания элементов в основных типах донных осадков малых водоемов юга Томской области. При этом был выполнен анализ всех ранее опробованных донных отложений в водоемах юга Томской области отобранных в 2004 году В.К. Бернатонисом, В.С. Архиповым и И.Г. Кудашевым, а также исследован большой массив проб донных отложений, отобранных автором.

Впервые для юга Томской области нами получены средние оценки содержания большого спектра элементов в донных отложениях малых водоемов, основанные на представительном геохимическом материале (таблица 6).

Таблица 6 – Содержание химических элементов в донных осадках малых водоемах юга Томской области и статистические параметры их распределения, г/т (объем выборки 618 проб)

Элемент	X	min	max	V, %	медиана	мода
Na, %	1,0±0,02	0,005	3,5	49	0,96	1,7
Ca, %	1,5±0,1	0,3	32,9	144	1,5	1,1
Sc	13,1±0,2	0,3	45	30	13,6	14,7
Cr	80±1,4	13,7	172	30	77,7	76,6
Fe, %	3,9±0,08	0,2	12	35	3,9	4
Co	17,4±0,3	1,4	42	30	17,2	18
As	3,5±0,9	1	106	202	4	5
Br	17,4±1,1	3,2	103	116	9,1	1
Rb	80±0,18	6,8	194	39	75,8	84
Sr	78±11	8	2126	125	150	150
Sb	1,3±0,04	1	4	50	1,3	0,5
Cs	3,2±0,09	0,2	8,7	30	5	5,6
Ba	587±13	99	1661	38	560	560
La	28,4±0,4	0,38	65	27	29,8	34
Ce	51,5±0,7	2,5	101	24	52,8	47,2
Sm	6,1±0,1	0,05	14,3	32	5,9	5,8
Eu	1,3±0,02	0,04	3,4	33	1,4	1,4
Tb	0,8±0,01	0,02	2	32	0,8	1,1
Yb	2,7±0,04	0,1	4,1	29	2,7	2,9
Lu	0,5±0,01	0,04	1,04	36	0,48	0,51
Ta	0,9±0,02	0,87	2,5	41	0,87	1,1
Hf	5,1±0,1	0,4	14,1	34	5,1	5,4
Au	0,02±0,002	0,003	0,51	276	0,008	0,005

продолжение таблицы 6

Hg	0,18±0,015	0,01	2,1	132	0,095	0,08
Th	7,0±0,1	0,4	13,7	26	7,5	7,4
U	3,6±0,1	0,5	35,2	89	3	3,7

Примечание: X – среднее ± ошибка определения среднего, min – минимальное; max – максимальное; V% – коэффициент вариации, жирным шрифтом выделен V>85%

Большинство элементов (натрий, скандий, хром, железо, кобальт, рубидий, сурьма и т.д.) в донных отложениях малых водоемов юга Томской области имеют коэффициент вариации $V < 50\%$, что указывает на однородную совокупность. Исключение составляют кальций мышьяк, бром, стронций, золото, ртуть и уран распределение которых неравномерное, $V > 85\%$ (таблица 6).

Минимальные и максимальные содержания указывают на большой интервал разброса значений содержания химических элементов. Высокий коэффициент вариации может быть обусловлен разными факторами: химическим составом воды исследуемых водоемов, региональными особенностями и т.д.

Изученные водоемы находятся в 7 административных районах на юге Томской области, где сосредоточено большинство населенных пунктов, преимущественно вдоль долин крупных рек, железных и автомобильных дорог.

Рассматривая малые водоемы каждого района юга Томской области в отдельности, можно выделить те элементы-примеси, которые определяют специфику региона в целом. Среднее содержание элементов в донных отложениях юга Томской области приведены для каждого района отдельно (таблица 7).

Анализ полученных результатов позволяет отметить достаточно неоднородное распределение элементов по исследуемой территории области. Асиновский район, в сравнении с другими районами юга Томской области, характеризуется повышенными концентрациями Sc, Fe, Co, Ba и Eu, Бакчарский район - Cr, Ce, Yb, Ta и Hf, Зырянский район - Lu, Кожевниковский район - As, Rb, Sr и U, Кривошеинский район - Na и Yb, Томский район - Ca, La, Sm, Tb, Au и Hg и Шегарский район - Sc, Br, Lu, Ta и Th.

Таблица 7 – Среднее содержание химических элементов в донных отложениях районов юга Томской области, г/т

Элементы	Томская Область (618 проб)	Асиновский район (68 проб)	Бакчарский район (26 проб)	Зырянский Район (40 проб)	Кожевниковский район (75 проб)	Кривошеинский район (59 проб)	Томский Район (234 проб)	Шегарский Район (116 проб)
Na	<u>1,0±0,02</u> 0,005...3,5	<u>0,8±0,03</u> 0,07...1,63	<u>1,1±0,08</u> 0,9...1,4	<u>0,9±0,04</u> 0,29...1,7	<u>0,8±0,04</u> 0,2...1,5	<u>1,6±0,07</u> 0,005...3,5	<u>1,2±0,07</u> 0,1...2,6	<u>0,9±0,07</u> 0,16...1,83
Ca	<u>1,5±0,16</u> 0,3...32,9	<u>2,2±0,12</u> 0,3...4,6	<u>1,8±0,5</u> 0,9...3,4	<u>1,3±0,1</u> 0,55...3,95	<u>1,9±0,1</u> 0,5...5,1	<u>1,4±0,1</u> 0,34...7,9	<u>2,3±0,05</u> 1,1...32,9	<u>2,0±0,5</u> 0,82...7,79
Sc	<u>13,1±0,2</u> 0,3...45	<u>13,8±0,4</u> 1,5...24	<u>11,6±0,3</u> 4...12,2	<u>13,6±0,43</u> 5,4...17,6	<u>12,5±0,87</u> 3,7...45	<u>13,1±0,2</u> 7,1...17,2	<u>12,7±0,28</u> 0,5...17,2	<u>13,8±0,9</u> 1,95...26
Cr	<u>80±1,4</u> 13,7...172	<u>96,9±2,6</u> 20...156	<u>131,3±4,8</u> 91...146	<u>81,7±2,3</u> 49,2...119	<u>69,7±2,5</u> 20...100	<u>65,6±1,3</u> 43,6...89,5	<u>69,9±1,2</u> 23,1...143	<u>88,3±2,8</u> 15,5...172
Fe	<u>3,88±0,08</u> 0,2...12	<u>5,0±0,2</u> 0,4...10,5	<u>2,9±0,1</u> 2,5...3,1	<u>4,6±0,21</u> 2,1...7,9	<u>4,1±0,23</u> 1,7...12	<u>4,0±0,11</u> 2,4...6,7	<u>3,3±0,11</u> 0,5...5,4	<u>4,1±0,24</u> 2,1...7,3
Co	<u>17,4±0,3</u> 1,4...42	<u>21,3±0,7</u> 2,5...42	<u>14,4±0,4</u> 9,7...15,5	<u>17,5±0,5</u> 7,9...24	<u>15,3±0,5</u> 7,9...23,8	<u>16,5±0,3</u> 10,8...22,4	<u>15,2±0,4</u> 1,4...22	<u>17,5±0,6</u> 3,9...31
As	<u>3,5±0,85</u> 1...106	<u>5,8±1,8</u> 1...105	<u>2,0±0,9</u> 1...2,5	<u>7,7±2</u> 1,5...8	<u>13,0±3</u> 5...106	<u>6,3±1</u> 4...74,7	<u>11,1±0,9</u> 1...8	<u>2,0±0,9</u> 1,5...24
Br	<u>17,4±1,6</u> 3,2...104	<u>22,5±2,5</u> 3,4...70	<u>7,1±2</u> 2...15,3	<u>32,4±3</u> 1,5...104	<u>12,3±0,8</u> 4,6...30,4	<u>1,6±0,3</u> 1...16,6	<u>11,6±0,6</u> 3,3...32,1	<u>46,3±4</u> 31,5...102
Rb	<u>80±0,18</u> 6,8...194	<u>77,7±3</u> 7...151	<u>58,4±2,7</u> 7,5...67,4	<u>85,8±5,2</u> 33...182	<u>103,8±4,6</u> 37...194	<u>80,3±3,7</u> 14...184	<u>52,9±1,9</u> 7,7...84	<u>75,5±3,8</u> 41,5...120
Sr	<u>78±11</u> 8...2126	<u>138±15</u> 14...610	<u>101±11</u> 13...236	<u>140±24</u> 15,2...720	<u>271±31</u> 18...660	<u>161±3</u> 15...200	<u>46±13</u> 8...2126	<u>103±4</u> 13,5...603
Sb	<u>1,3±0,04</u> 0,1...4,0	<u>1,4±0,07</u> 0,1...3,4	<u>0,4±0,09</u> 0,2...1	<u>1,3±0,12</u> 0,5...2,5	<u>1,4±0,11</u> 0,5...2,8	<u>1,3±0,09</u> 0,2...2,6	<u>1,0±0,13</u> 0,2...2,6	<u>1,4±0,15</u> 0,8...4
Cs	<u>5,0±0,09</u> 0,2...8,7	<u>4,9±0,18</u> 0,6...8,8	<u>4,5±0,08</u> 0,5...4,7	<u>4,9±0,18</u> 2,3...7,7	<u>5,0±0,22</u> 1,7...8,4	<u>5,2±0,14</u> 2,9...7,3	<u>3,9±0,2</u> 0,2...7,4	<u>5,5±0,3</u> 1,3...8,4
Ba	<u>587±13</u> 99...1661	<u>748±18</u> 150...1200	<u>197±40</u> 50...271	<u>593±28</u> 313...1060	<u>685±25</u> 320...1350	<u>534±20</u> 100...960	<u>699±51</u> 100...1550	<u>601±30</u> 333...1660
La	<u>28,4±0,4</u> 0,38...65	<u>28,8±0,7</u> 12,4...42	<u>30,9±0,4</u> 10,7...32,2	<u>28,1±0,8</u> 13,8...35,2	<u>24,5±1</u> 8...34,5	<u>29,8±0,6</u> 11,6...39	<u>31,5±0,6</u> 1,6...42	<u>27,7±0,9</u> 3,2...65
Ce	<u>51,5±0,7</u> 2,5...101	<u>53,6±1,3</u> 6,5...75	<u>55,0±2,5</u> 5,4...59,4	<u>53,3±1,6</u> 29...76	<u>51,4±1,9</u> 21...72	<u>48,9±1</u> 31,6...73,2	<u>51,4±0,7</u> 3,1...63,1	<u>51,8±1,2</u> 9,3...101
Sm	<u>6,1±0,1</u> 0,05...14,3	<u>6,6±0,17</u> 2,3...10,4	<u>6,0±0,22</u> 2...6,7	<u>6,8±0,2</u> 2,5...9,6	<u>5,0±0,2</u> 1,5...8,4	<u>5,6±0,15</u> 1,7...8,3	<u>7,5±0,2</u> 0,3...11	<u>5,5±0,5</u> 0,05...7
Eu	<u>1,3±0,02</u> 0,04...3,4	<u>1,5±0,04</u> 0,7...2,5	<u>1,2±0,04</u> 0,5...1,3	<u>1,4±0,04</u> 0,72...2,1	<u>1,2±0,05</u> 0,5...2	<u>1,4±0,03</u> 0,4...2	<u>1,3±0,03</u> 0,1...1,9	<u>1,3±0,03</u> 0,1...3,4
Tb	<u>0,8±0,01</u> 0,02...2	<u>0,9±0,02</u> 0,02...1,4	<u>0,7±0,04</u> 0,05...0,8	<u>0,8±0,03</u> 0,46...1,24	<u>0,7±0,01</u> 0,2...1,1	<u>0,8±0,01</u> 0,44...1,3	<u>1,0±0,03</u> 0,1...1,6	<u>0,9±0,01</u> 0,03...2
Yb	<u>2,6±0,04</u> 0,1...4,1	<u>2,8±0,06</u> 1,35...4,05	<u>3,2±0,04</u> 1...3,3	<u>2,5±0,08</u> 1,2...3,5	<u>2,1±0,09</u> 0,7...3,5	<u>3,2±0,07</u> 1,2...4,1	<u>2,7±0,11</u> 0,1...4,4	<u>2,4±0,08</u> 0,36...3,3
Lu	<u>0,48±0,01</u> 0,04...1,04	<u>0,5±0,02</u> 0,14...1,05	<u>0,5±0,004</u> 0,1...0,5	<u>0,6±0,02</u> 0,27...0,94	<u>0,4±0,01</u> 0,1...0,6	<u>0,5±0,01</u> 0,16...0,62	<u>0,5±0,01</u> 0,1...0,7	<u>0,6±0,05</u> 0,04...0,93
Ta	<u>0,9±0,02</u> 0,87...2,5	<u>0,9±0,04</u> 0,09...2	<u>1,1±0,09</u> 0,8...1,4	<u>1,0±0,05</u> 0,3...1,9	<u>0,7±0,04</u> 0,2...1,2	<u>1,0±0,03</u> 0,42...1,8	<u>0,7±0,04</u> 0,1...1,7	<u>1,1±0,07</u> 0,32...1,91
Hf	<u>5,1±0,1</u> 0,4...14,1	<u>5,5±0,2</u> 0,6...13,5	<u>6,9±0,5</u> 0,7...8,7	<u>5,2±0,2</u> 2,64...8,3	<u>4,6±0,2</u> 1,6...7,7	<u>4,8±0,1</u> 3,2...7,3	<u>4,8±0,2</u> 0,4...7	<u>6,0±0,3</u> 0,84...14,2
Au	<u>0,01±0,002</u> 0,003...0,51	<u>0,01±0,0008</u> 0,003...0,04	<u>0,002±0,002</u> 0,002...0,012	<u>0,02±0,001</u> 0,004...0,43	<u>0,01±0,001</u> 0,008...0,036	<u>0,01±0,001</u> 0,005...0,051	<u>0,07±0,02</u> 0,008...0,5	<u>0,01±0,001</u> 0,008...0,01
Hg	<u>0,18±0,015</u> 0,01...2,1	<u>0,10±0,016</u> 0,02...0,71	<u>0,062±0,005</u> 0,03...0,23	<u>0,18±0,021</u> 0,03...0,56	<u>0,08±0,005</u> 0,03...0,23	<u>0,08±0,005</u> 0,02...0,23	<u>0,41±0,071</u> 0,03...2,1	<u>0,28±0,04</u> 0,06...0,83
Th	<u>7,0±0,11</u> 0,4...13,7	<u>7,8±0,22</u> 1,2...12,9	<u>7,2±0,18</u> 1,5...7,6	<u>7,7±0,2</u> 4,3...11,3	<u>7,5±0,3</u> 2,7...11,5	<u>7,2±0,1</u> 3,8...9,9	<u>6,5±0,12</u> 0,4...8,9	<u>8,3±0,5</u> 1,3...13,7
U	<u>3,6±0,17</u> 0,5...35,2	<u>3,1±0,13</u> 1,5...6,7	<u>0,82±0,4</u> 0,5...2,1	<u>3,2±0,3</u> 0,5...12	<u>4,1±0,7</u> 0,9...35,2	<u>2,6±0,1</u> 0,5...5,3	<u>3,6±0,14</u> 0,6...6,6	<u>3,8±0,5</u> 1,7...31

Примечание: Содержание элементов дано в г/т, Na, Fe, и Ca даны в %, в знаменателе – max и min значения; в числителе – среднее значение; ± – ошибка определения среднего, жирным шрифтом выделены максимальные средние содержания химических элементов среди изученных районов

Как уже было сказано выше, нами было изучено три типа донных отложений: терригенные, карбонатные, торфянистые. Среднее содержание элементов в каждом типе отложений в сравнении с осадочными породами представлено в таблице 8.

Таблица 8 – Среднее содержание химических элементов в донных отложениях различных минеральных типов малых водоемов юга Томской области

элемент	Типы донных отложений			Осадочные породы*
	Терригенные (421 проба)	Карбонатные (129 проб)	Торфянистые (68 проб)	
Na	0,87	0,3	0,48	1,3
Ca	2,0	14,2	1	7,28
Sc	12	5,8	6,5	9,6
Cr	76	42,8	67,5	58
Fe	4,2	2,2	1,7	3,54
Co	17	8,5	10,9	14
As	6,8	12,3	2,9	7,6
Br	23	20,0	18,2	44
Rb	81	46,5	39,7	94
Sr	150	314	137	270
Sb	1,2	0,7	0,7	1,2
Cs	4,9	2,7	2,9	7,7
Ba	596	421	309	410
La	26,4	11,8	14,5	32
Ce	49,5	24,3	30,8	52
Sm	5,6	2,5	3,5	5,5
Eu	1,3	0,6	1,2	0,94
Tb	0,8	0,4	0,4	0,7
Yb	2,4	1,1	1,3	2
Lu	0,45	0,2	0,2	0,44
Ta	0,8	0,6	0,4	1
Hf	4,8	2,2	3,3	3,9
Au	0,01	0,008	0,03	0,006
Hg	0,18	0,165	0,08	0,068
Th	7,2	3,6	4,4	7,7
U	4,0	2,8	1,6	3,4

Примечание: *осадочные породы (Григорьев, 2003); Содержание элементов дано в г/т, Na, Fe, и Ca даны в %; жирным шрифтом выделены средние содержания элементов накапливающихся в конкретном типе отложений относительно осадочных пород

Анализ этих данных показывает, что донные осадки малых водоемов юга Томской области имеют различное накопление элементов в каждом типе. Если сравнивать минеральные типы донных отложений водоемов юга Томской области с осадочными породами по Н.А. Григорьеву (2003), то практически весь спектр элементов в значительной степени накапливается в терригенном типе, при том, как карбонатные отложения характеризуются накоплением кальция, стронция, бария и золота, а в торфянистом типе так же, как и в терригенном, идет накопление хрома, европия и золота.

Соответствие закона распределения нормальному закону определялось при помощи теста Kolmogorov-Smirnov. Нормальный закон распределения содержания элементов в донных отложениях установлен практически для всех изученных элементов. В качестве примера рассмотрим самарий, лютеций, иттербий, лантан, церий, торий, хром и гафний (рисунок 26, 26а). Отличный от нормального закон распределения установлен для кальция, мышьяка, брома, стронция, золота и урана (рисунок 27).

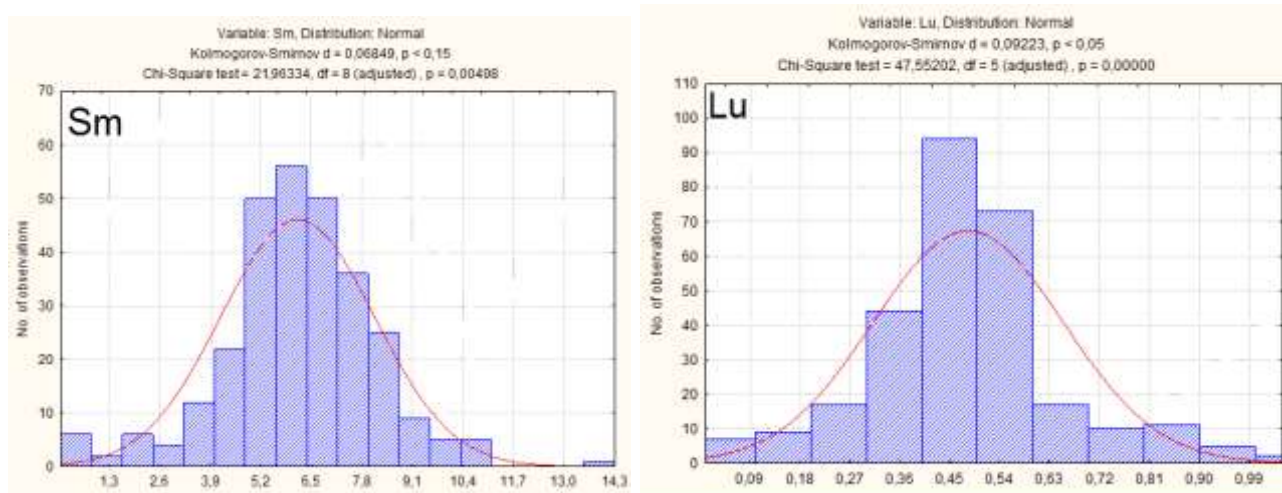


Рисунок 26 – Гистограмма распределения содержания самария и лютеция в донных отложениях юга Томской области

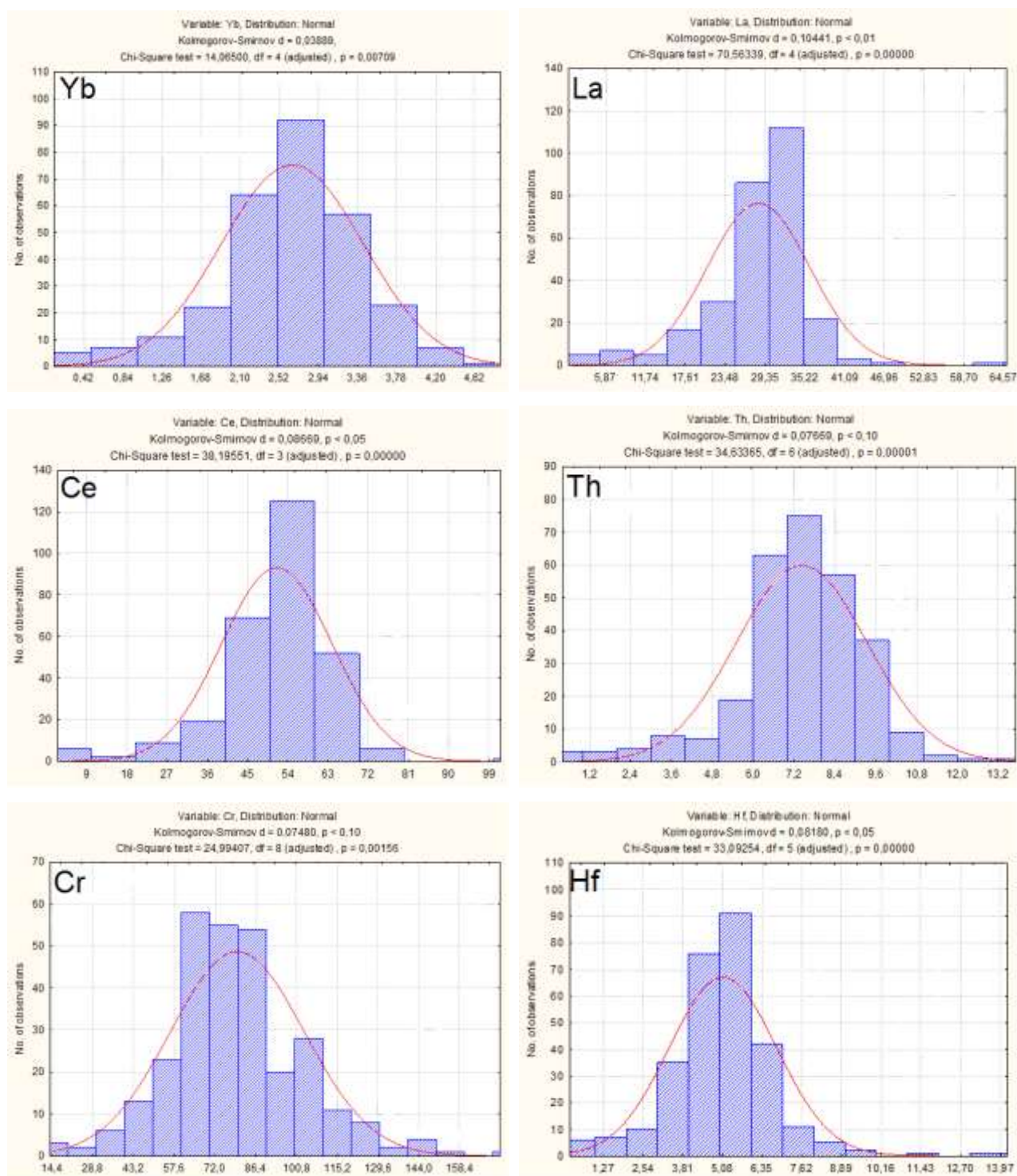


Рисунок 26а – Гистограмма распределения содержания иттербия, лантана, церия, тория, хрома и гафния в донных отложениях юга Томской области

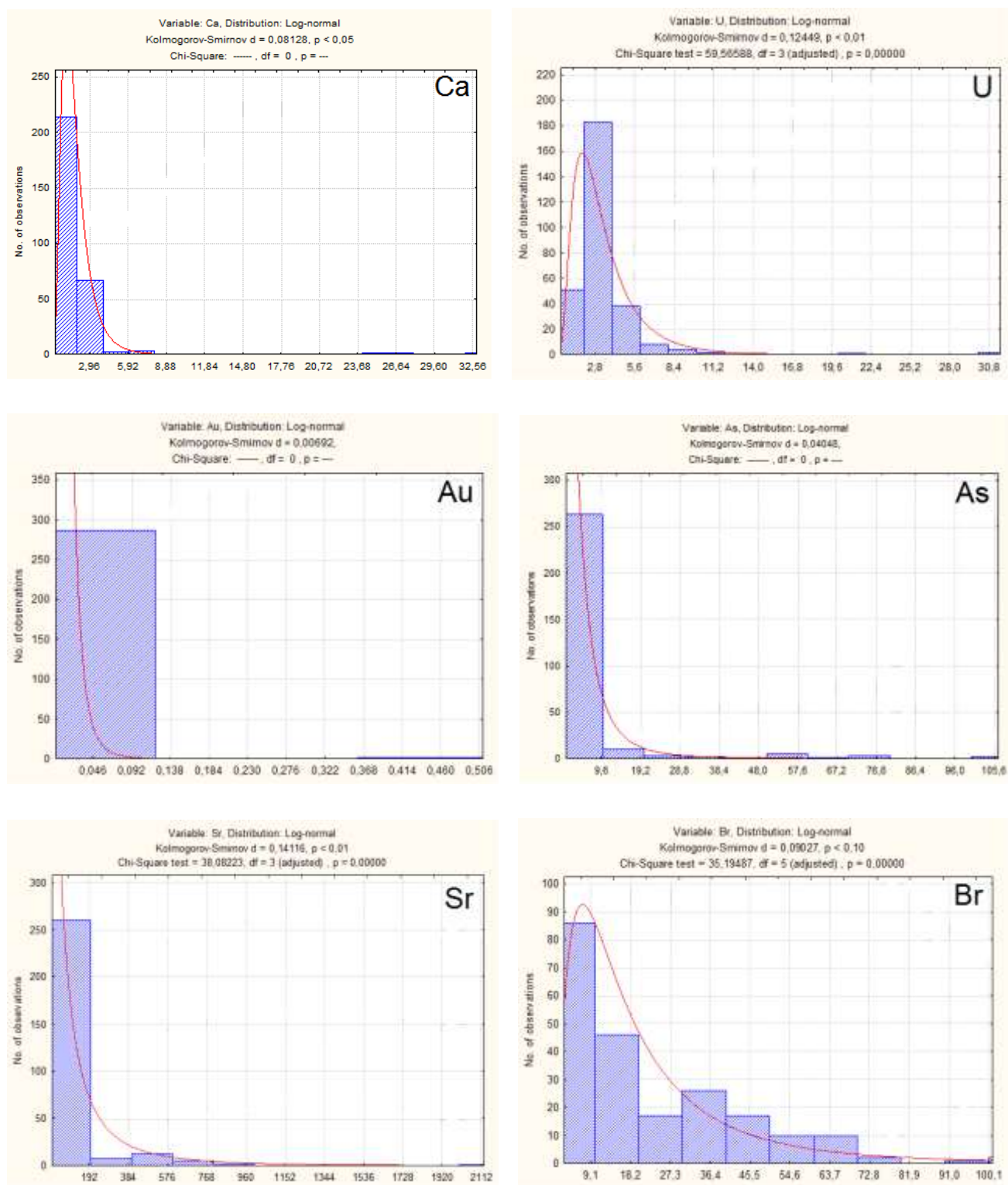


Рисунок 27 – Гистограмма распределения содержания кальция, урана, золота, мышьяка, стронция и брома с кривой плотности в донных отложениях юга Томской области

Для сопоставления полученных данных по элементному составу донных отложений водоемов юга Томской области сравним их с данными некоторых континентальных озер Сибири и с осадочными породами по Н.А. Григорьеву (2003) (таблица 9).

Таблица 9 – Среднее содержание элементов малых водоемов юга Томской области и некоторых озер Сибири

Элементы	Томская область (618 проб)	Сибирь ¹	Осадочные породы ²	Элементы	Томская область (618 проб)	Сибирь ¹	Осадочные породы ²
Na	$\frac{1,0 \pm 0,02}{0,005 \dots 3,5}$	1	1,3	La	$\frac{28,4 \pm 0,4}{0,38 \dots 65}$	12,1	32
Ca	$\frac{1,5 \pm 0,1}{0,3 \dots 32}$	6	7,28	Ce	$\frac{51,5 \pm 0,7}{2,5 \dots 101}$	24,4	52
Sc	$\frac{13,1 \pm 0,2}{0,3 \dots 45}$	-	9,6	Sm	$\frac{6,1 \pm 0,1}{0,05 \dots 14,3}$	1,1	5,5
Cr	$\frac{80 \pm 1,4}{13,7 \dots 172}$	57	58	Eu	$\frac{1,3 \pm 0,02}{0,04 \dots 4,5}$	0,5	0,94
Fe	$\frac{3,9 \pm 0,08}{0,2 \dots 12}$	2,4	3,54	Tb	$\frac{0,8 \pm 0,01}{0,02 \dots 2}$	0,4	0,7
Co	$\frac{17,4 \pm 0,3}{1,4 \dots 42}$	10	14	Yb	$\frac{2,6 \pm 0,04}{0,1 \dots 4,9}$	1,1	2
As	$\frac{3,5 \pm 0,9}{3,2 \dots 106}$	-	7,6	Lu	$\frac{0,5 \pm 0,01}{0,01 \dots 1,04}$	0,2	0,44
Br	$\frac{17,4 \pm 1,1}{3,2 \dots 103}$	-	44	Hf	$\frac{5,1 \pm 0,1}{0,2 \dots 14,1}$	2,5	3,9
Rb	$\frac{80 \pm 0,18}{6,8 \dots 194}$	-	94	Ta	$\frac{0,9 \pm 0,02}{0,87 \dots 2,5}$	-	1
Sr	$\frac{78 \pm 11}{13 \dots 2126}$	491	270	Au	$\frac{0,01 \pm 0,002}{0,008 \dots 0,51}$	-	0,006
Sb	$\frac{1,3 \pm 0,04}{1 \dots 4}$	1	1,2	Hg	$\frac{0,18 \pm 0,015}{0,01 \dots 2,1}$	-	0,068
Cs	$\frac{3,2 \pm 0,09}{0,2 \dots 8,7}$	-	7,7	Th	$\frac{7 \pm 0,1}{0,4 \dots 13,7}$	4,7	7,7
Ba	$\frac{587 \pm 13}{99 \dots 1661}$	312	410	U	$\frac{3,6 \pm 0,1}{0,5 \dots 35,2}$	2,1	3,4

Примечание: - нет данных. Содержание элементов дано в г/т, Na, Fe, и Ca даны в %, в знаменателе – max и min значения, в числителе – среднее значение; $\pm$ – ошибка определения среднего, жирным выделены элементы, характеризующие повышенным накоплением в Томской области.

1. Страховенко и др., 2010; 2 – Григорьев, 2003

Анализ полученных результатов позволяет отметить, что по основному спектру изученных элементов донные осадки малых водоемов юга Томской области отличаются несколько более высокими содержаниями в сравнении с другими континентальными озерами Сибири (Страховенко, 2010). Исключение

составляет Ca и Sr. А по содержанию ряда элементов, таких как Hf, Yb, Tb, Eu, Na, Ca, Fe, Co, Se, As они близки к данным по осадочным породам (Григорьев, 2003).

Установлено, что в целом донные отложения малых водоемов юга Томской области характеризуются накоплением Sc, Cr, Fe, Co, Sb, Ba, PЗЭ, Hf, Hg, Au и U. Накопление этого же ряда элементов отмечено в торфяниках региона, которые характеризуются избирательным накоплением Cr, Br, Ba, Sb, Sr, Au (Межибор, 2009).

Схожая картина была получена при сравнении донных отложений юга Томской области со средними содержаниями элементов в почвах юга Томской области (Барановская, 2011). В этом случае донные отложения характеризуются повышенным по сравнению с почвами содержанием Na, Fe, Co, Sb, Ba, Th, PЗЭ, U и равным или меньшим содержанием таких элементов, как Ca, Cr, Br, Rb, Hf, Au, Sr, Cs, Ta и As.

В сравнении со средними содержаниями химических элементов в почвах и почвообразующих породах Западной Сибири (Сысо, 2004) донные осадки малых водоемов юга Томской области отличаются более высокими концентрациями Ba, Co, Fe и меньшими или равными – As, Cr, La и Sr.

Изучая пространственные изменения химического состава донных отложений рек Томской области, О.Г. Савичев и В.А. Лыготин выделяют высокие концентрации таких элементов как Ba, Sr, Co и Cr (Савичев и др., 2006). Этот же спектр элементов характерен и для донных отложений малых водоемов юга Томской области.

Особенности геохимической специализации изученных донных отложений хорошо отражено на диаграмме, построенной по коэффициентам концентрации, рассчитанным как отношение среднего содержания элементов в донных осадках малых водоемов юга Томской области к их содержанию в донных отложениях континентальных озер Сибири (Страховенко, 2010) (рисунок 28).

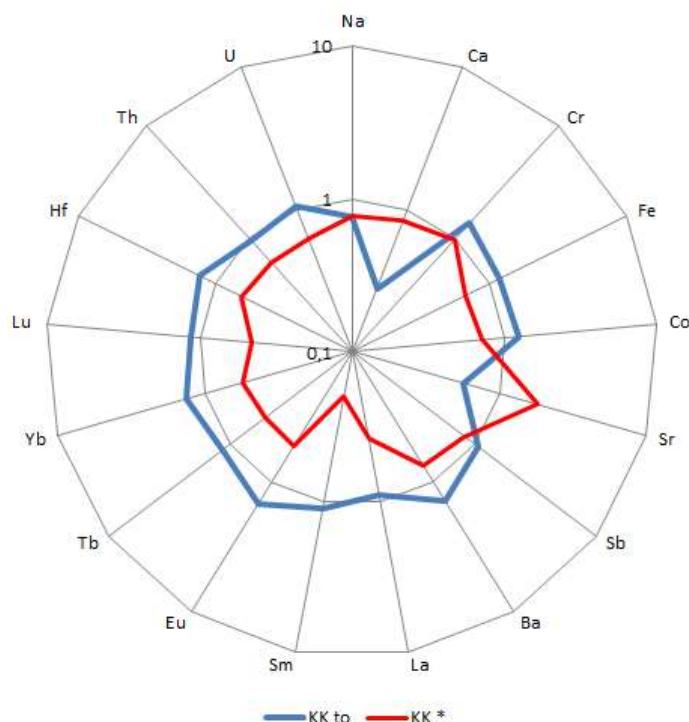


Рисунок 28 – Элементы-примеси в донных отложениях водоемов Томской области и континентальных водоемов Сибири. Содержание элемента выражено через коэффициент концентрации, рассчитанный по отношению к среднему содержанию в осадочных породах по Н.А. Григорьеву (2003) (KK to – коэффициент концентрации для водоемов юга Томской области, KK* – коэффициент концентрации для континентальных водоемов Сибири) (Страховенко, 2010)

Более контрастно геохимическую специализацию донных отложений отражает диаграмма, построенная по максимальному содержанию элемента в донных отложениях к среднему содержанию в осадочных породах по Н.А. Григорьеву (2003).

Диаграмма такого типа была рекомендована для более наглядного изображения геохимической специализации геологических образований (Смыслов и др., 1996).

Геохимическая специализация донных отложений водоемов юга Томской области хорошо согласуется с торфяниками региона (Межибор, 2009).

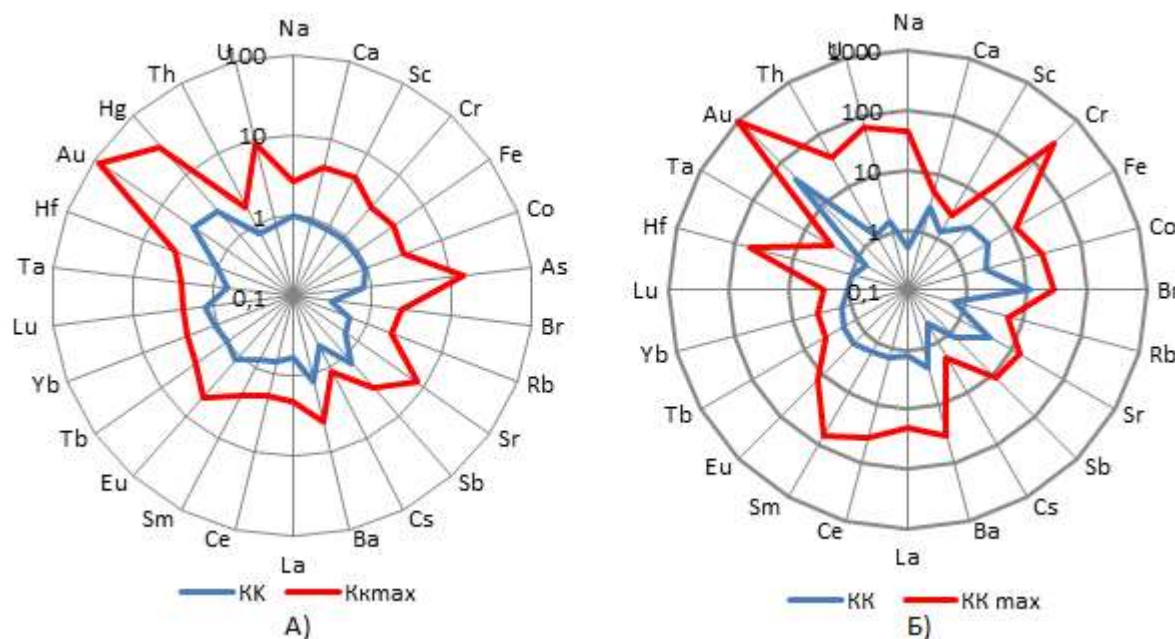


Рисунок 29 – А) Элементы-примеси в донных отложениях водоемов Томской области. Содержание элемента выражено через коэффициент концентрации, рассчитанный по среднему содержанию в осадочных породах по Н.А. Григорьеву (2003) (КК – коэффициент концентрации, ККmax – кларк концентрации, рассчитанный по максимальному содержанию элемента в донных отложениях) Б) Элементы-примеси в золе торфов Томской области. Содержание элемента выражено через коэффициент концентрации, рассчитанный по среднему содержанию в осадочных породах по Н.А. Григорьеву (2003) (КК — кларк концентрации, ККmax – кларк концентрации исходя из максимального содержания элемента в золе торфа) (Межибор, 2009)

Золото в торфах и углях в целом по Западно-Сибирскому региону характеризуется повышенными уровнями накопления (Arbuzov et al., 2006; Межибор, 2009).

Избыточное накопление Au и Sb в донных отложениях хорошо согласуется с общими геохимическими особенностями юга Томской области. Здесь известны эндогенные и экзогенные проявления Au и Sb («Геологическое строение ...», 1998; Черняев, 2000; Иванова, 2001; Арбузов, 2005).

В изученных донных отложениях были выявлены ассоциации элементов, наиболее тесно связанных между собой (рисунок 30):

Tb-Eu-Co-Cr-Sc-Th-Ce + Ta-Hf-Lu-Na-La-Yb-Sm - эта ассоциация скорее всего представлена терригенной частью донных отложений.

Br-Au ассоциация представлена органической частью донных отложений или морскими осадками.

As-Sr-Ca группа щелочноземельных элементов, где стронций являющийся рассеянным элементом из-за ионного радиуса может замещать кальций и входит в состав кальцийсодержащих минералов: апатит, плагиоклаз и карбонаты кальция, а мышьяк входит в состав кальцийсодержащих фосфатов.

Rb-Cs природно-минеральные образования, связанные скорее всего с широким распространением слюдистых минералов, в частности, мусковитом.

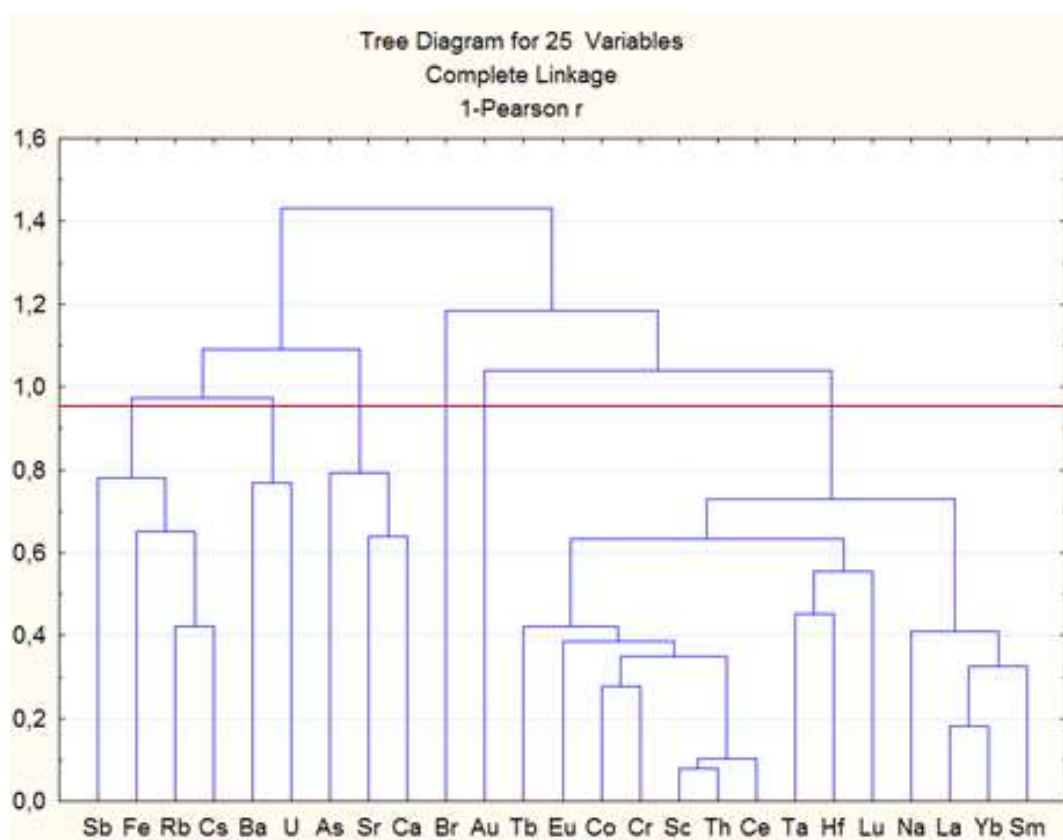


Рисунок 30 – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра донных осадков малых водоемов юга Томской области

5.2. Латеральная изменчивость

Латеральное распределение элементов в донных осадках малых водоемов юга Томской области анализируется исходя из оценки средних содержаний. Для

построения схематических карт распределения всех изученных элементов были использованы данные по всем изученным водоемам.

Щелочные металлы (Na, Rb, Cs).

Натрий в донных отложениях накапливается различными путями, в том числе и биогенным путем, где он является элементом, принимающий участие в жизнедеятельности растений. Повышенные концентрации натрия выделяются в Кривошеинском районе (рисунок 31).

Накопление рубидия и цезия в донных отложениях, скорее всего так же, как и в торфяниках, обуславливается наличием терригенной примеси (Арбузов, 2005). Рубидий и цезий выделяется повышенными концентрациями в Шегарском, Кожевниковском и, отчасти, Зырянском районах (рисунок 32, 33).

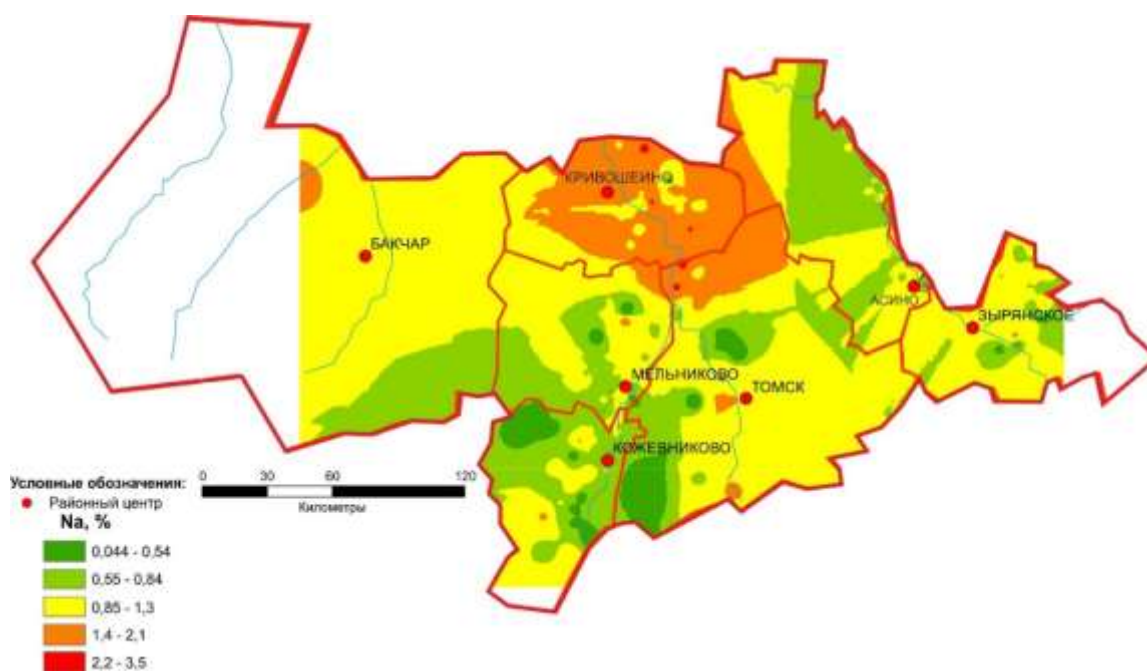


Рисунок 31 – Карта-схема распределения натрия (%), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

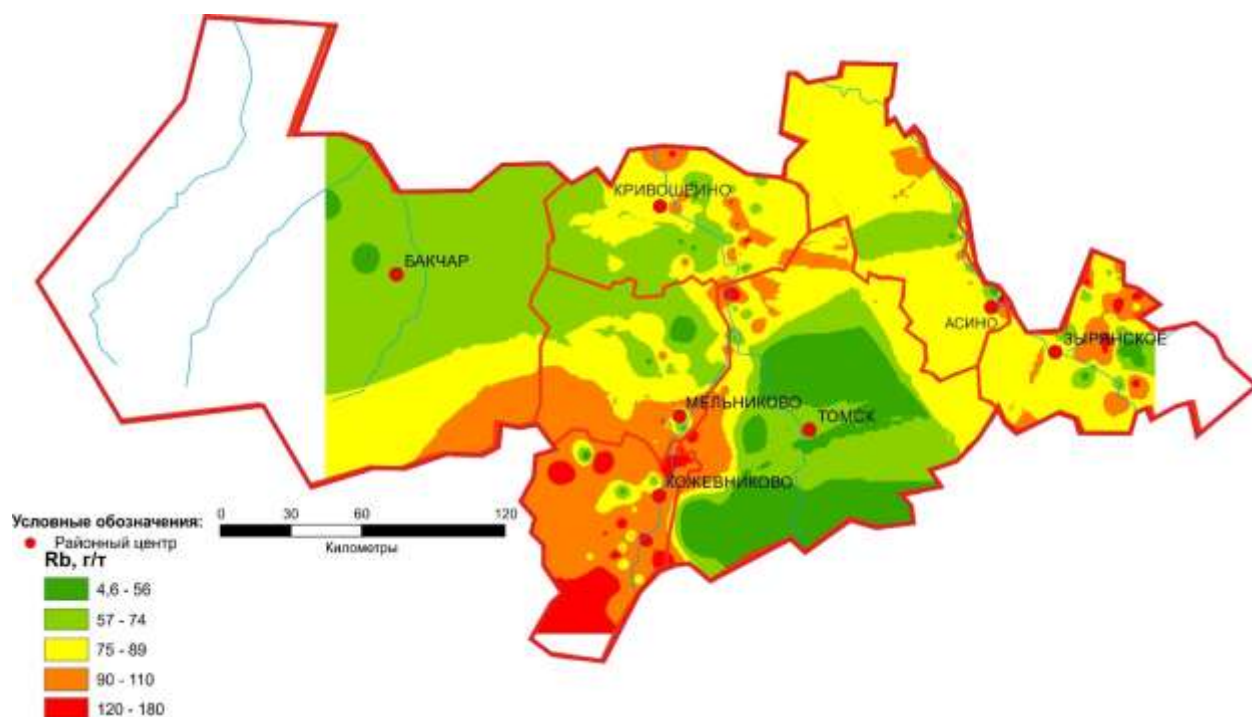


Рисунок 32 – Карта-схема распределения рубидия (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

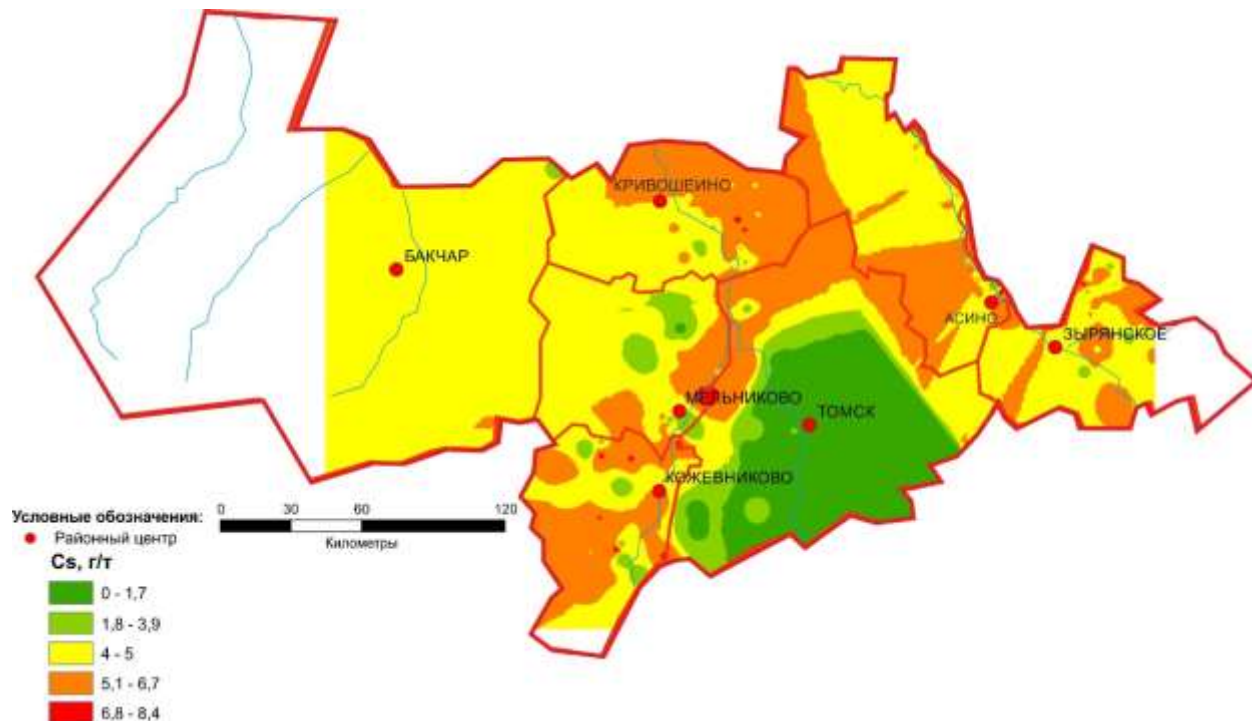


Рисунок 33 – Карта-схема распределения цезия (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

Кальций.

Среди изученных водоемов юга Томской области, выделяется Томский район, характеризующийся повышенным содержанием данного элемента. Максимальные содержания кальция от 20 до 30% приходятся на несколько водоемов района: озеро Черное, озеро Кирек и озеро, находящееся в заказнике Томский (рисунок 34).

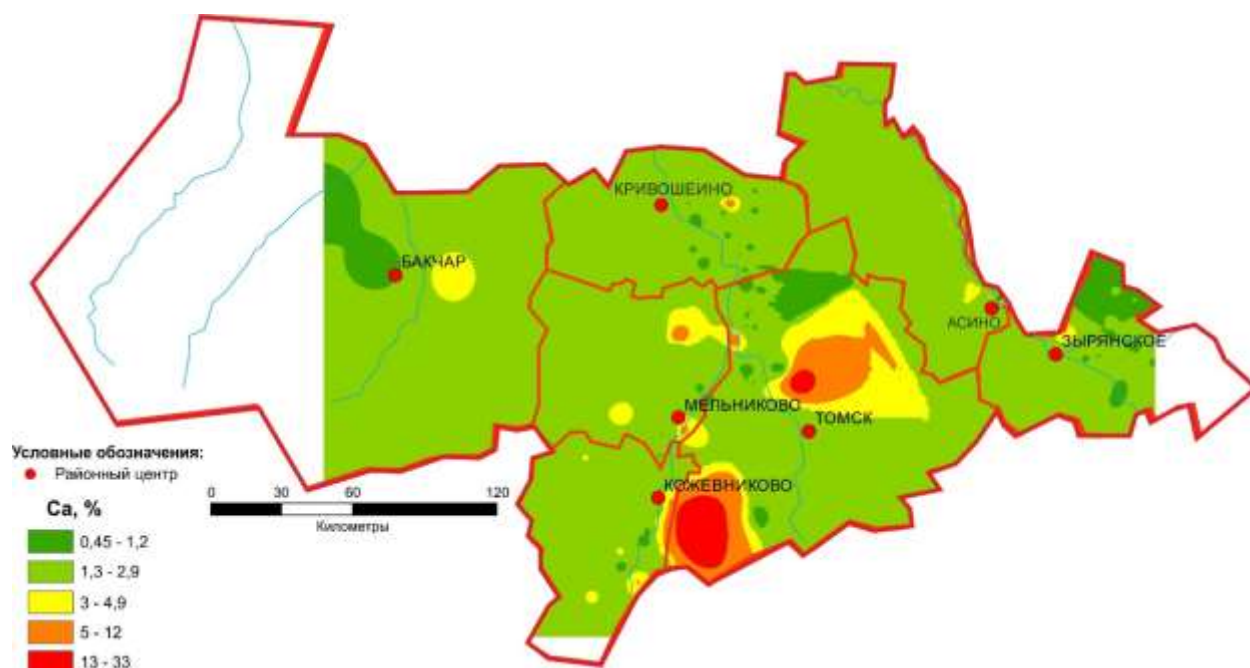


Рисунок 34 – Карта-схема распределения кальция (%), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

Элементы группы железа (сидерофильные) (Fe, Sc, Co, Cr).

Повышенное содержание Cr отчетливо выделяется в малых водоемах Бакчарского района (рисунок 35). Такая закономерность ранее была установлена в почвах и донных отложениях рек Бакчарского района (Шайхиев, Рихванов 2015), а также в поверхностных водотоках района (Шайхиев, 2017).

Природа этих аномалий может быть связана и Ca-Fe водами, формирующихся в верхних горизонтах артезианских бассейнов, зонах тектонических нарушений, корах выветривания и т.д. Эти воды формируют целые провинции с зональным распределением химических элементов. Такие провинции иногда отличаются высоким содержанием Cr (Лепокурова, 2011).

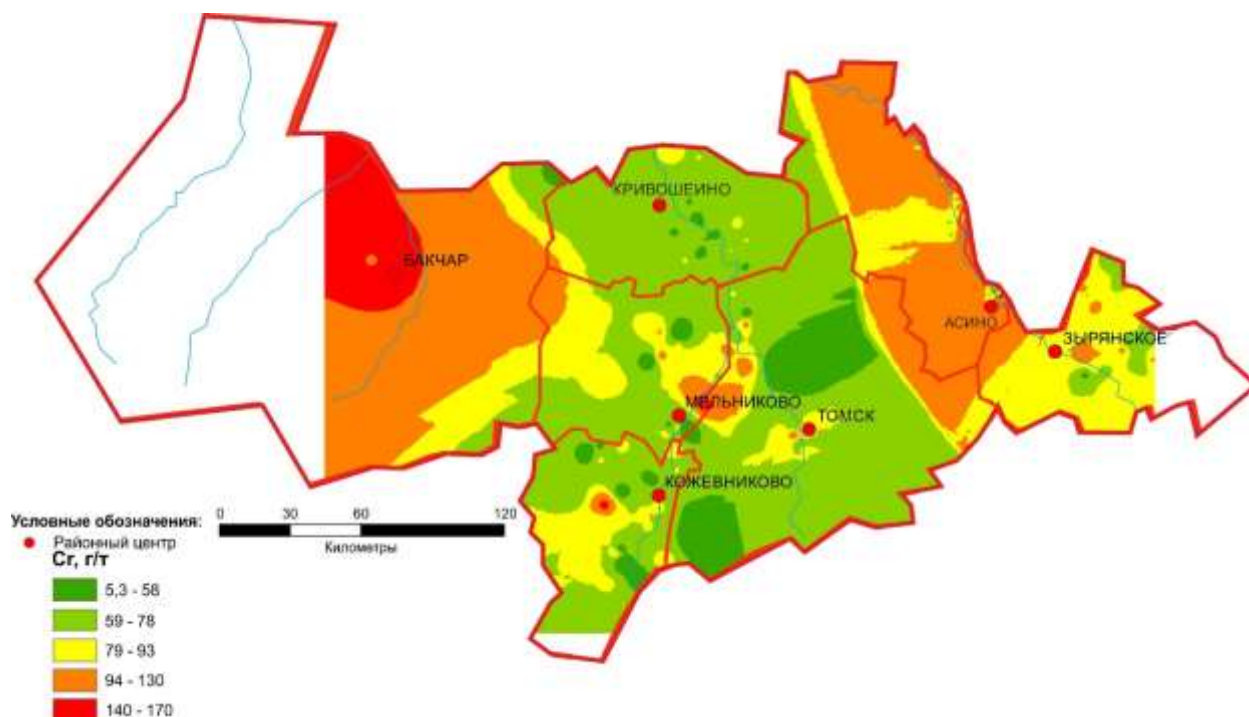


Рисунок 35 – Карта-схема распределения хрома (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

Асиновский и Зырянский районы находятся в северо-восточном направлении относительно двух больших промышленных городов Томска и Северска. Одной из причин может служить преобладающее направление ветра с Томск-Северской промышленной агломерации. Другой причиной повышенного содержания Fe и Co может быть наличие Яйского месторождения бурых углей, обогащенных редкоземельными и редкими элементами (Рихванов, 1997) (рисунок 36, 37).

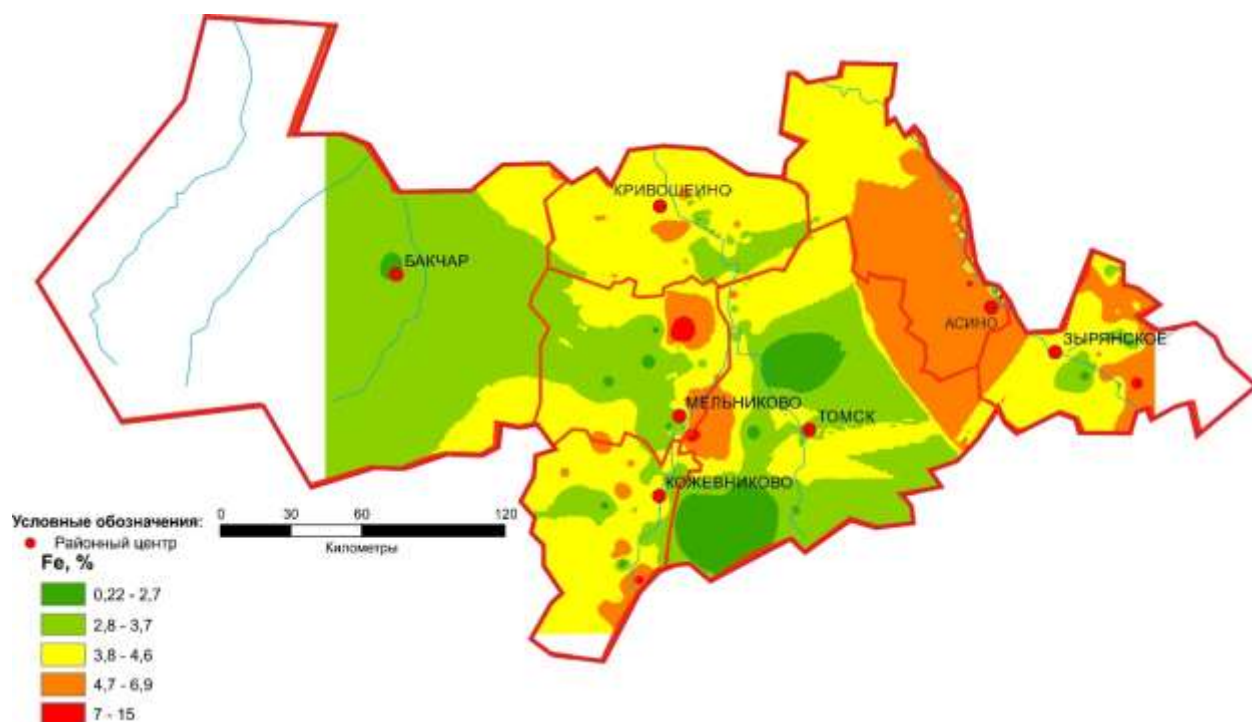


Рисунок 36 – Карта-схема распределения железа (%), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

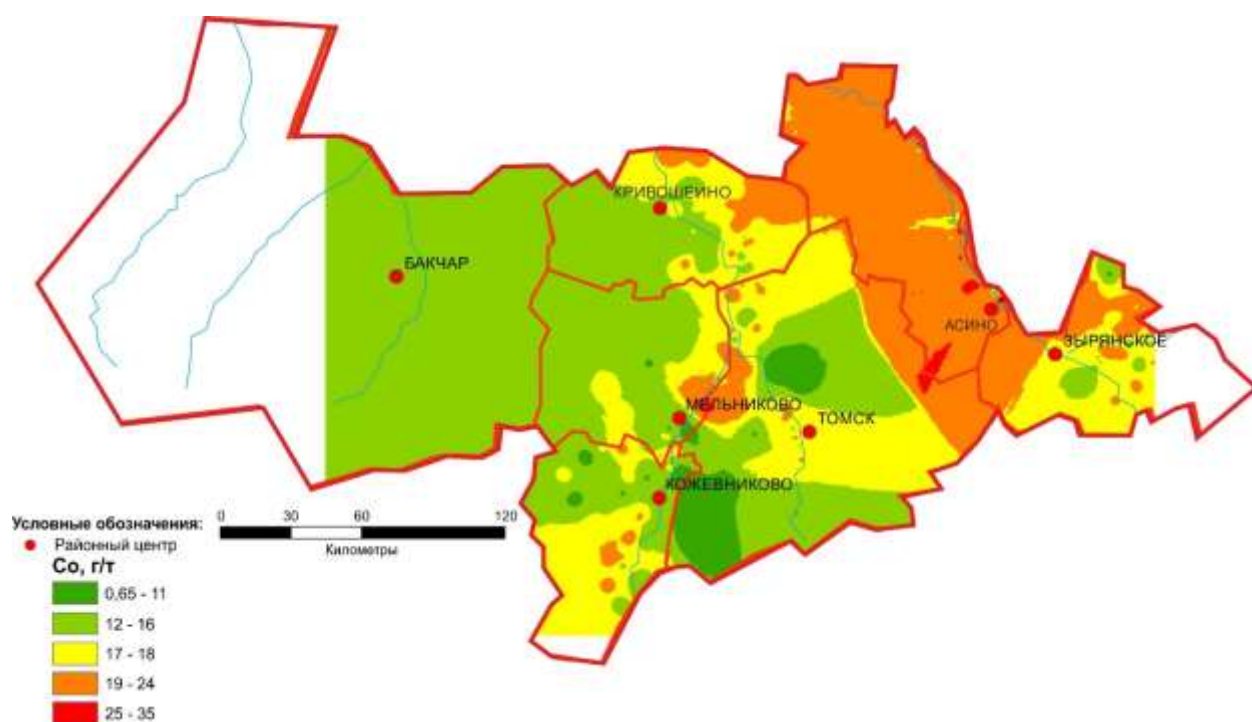


Рисунок 37 – Карта-схема распределения кобальта (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

Повышенные содержания скандия отмечены в Шегарском районе в котловинах около моста через р. Обь до 26 г/т. Максимальные концентрации до 45 г/т отмечаются в донных отложениях на южной окраине деревни Новотроицк (рисунок 38).

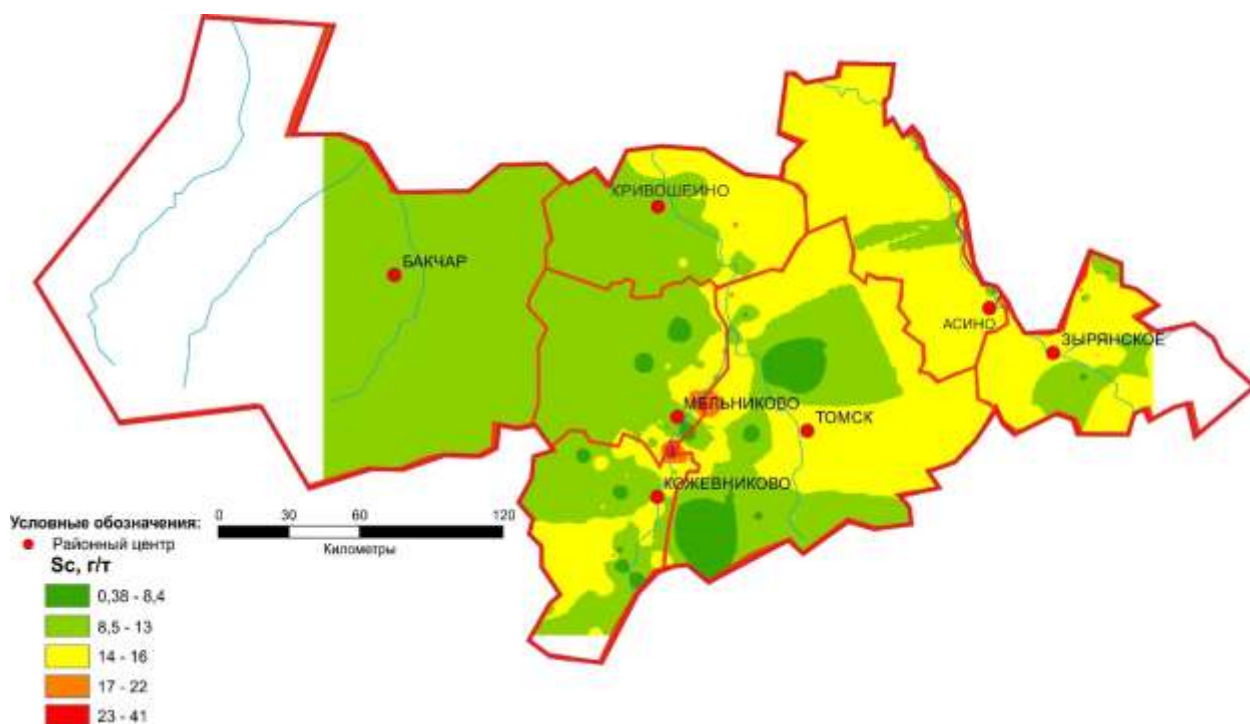


Рисунок 38 – Карта-схема распределения скандия (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

Халькофильные элементы (Au, Sb).

Максимальные содержания золота 0,51 г/т обнаружены в озере Тояново Томского района и в крупной старице у д. Иловка Зырянского район 0,43 г/т. (рисунок 39). Причиной повышенного содержания золота в Зырянском районе может быть наличие золотоносных кор выветривания или золотоносных аллювиальных россыпей. Для Томского района характерно неравномерное распределение золота, с повышенными концентрациями в его центральной части.

По высоким концентрациям сурьмы прослеживается зона от южной границы области до северной вдоль долины р. Оби в пределах Кожевниковского, Шегарского и Кривошеинского районов (рисунок 40).

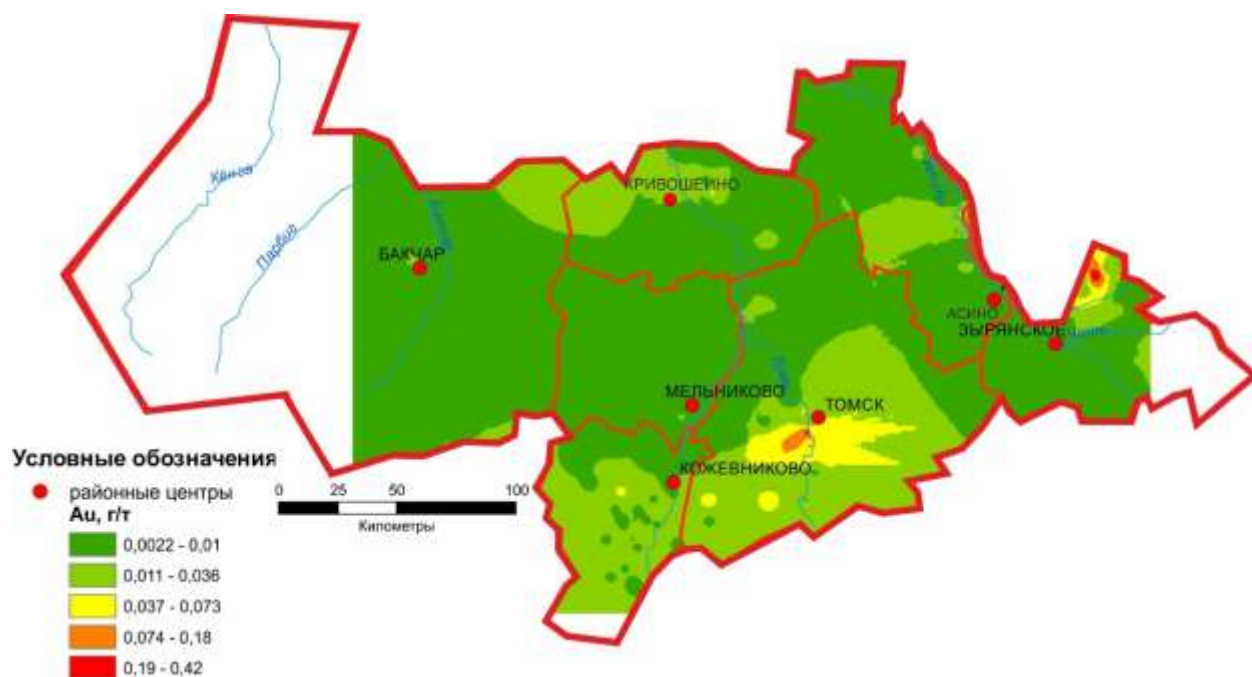


Рисунок 39 – Карта-схема распределения золота (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

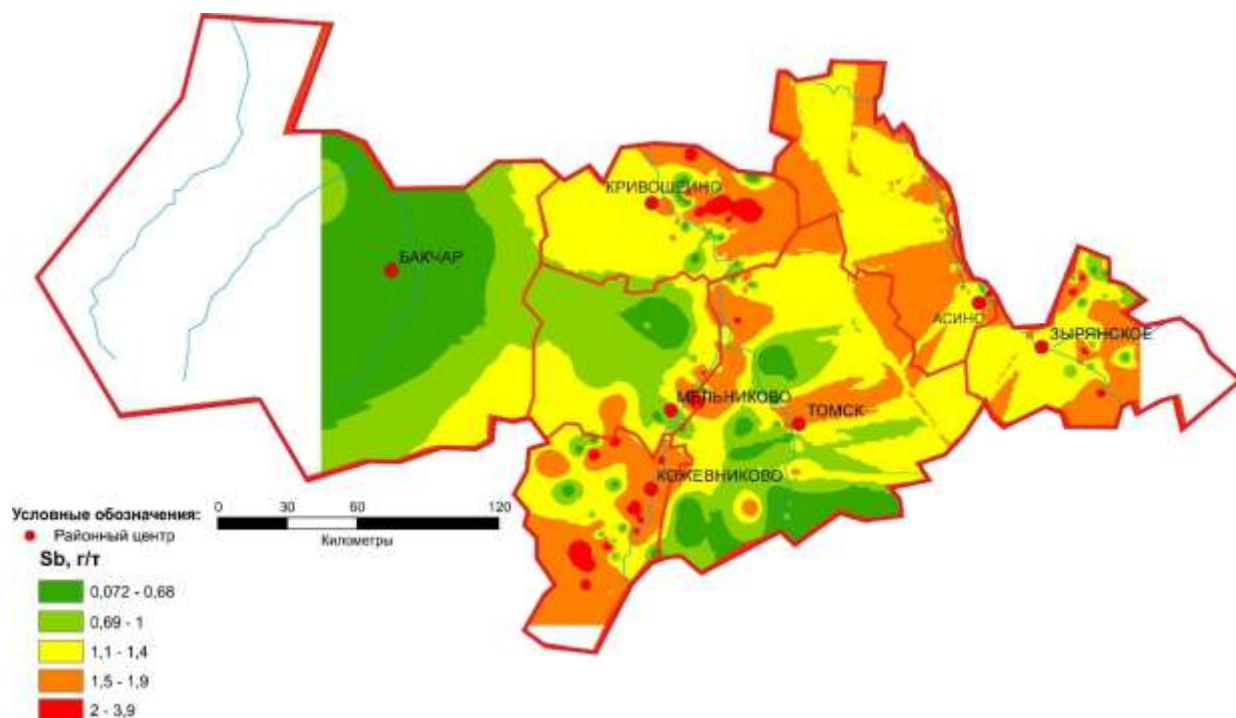


Рисунок 40 – Карта-схема распределения сурьмы (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

Лантаноиды.

Лантаноиды характеризуются достаточно неоднородным распределением по всей изученной территории области. Максимальные содержания Ce, Tb, Lu и

Ец отмечены в Шегарском районе в котловинах около моста через р. Обь. Большое количество водоемов Томского и Асиновского района характеризуются повышенным содержанием Sm относительно других изученных водоемов. При изучении характера распределения лантаноидов в донных отложениях юга Томской области выделяется повышенная зона на юго-востоке территории, предположительно связанная с Кузнецко-Алатауской областью сноса (рисунок 41).

Для изучения поступления веществ в донные отложения рассмотрим отношение La/Yb , которое характеризует соотношение терригенного и хемогенного способа накопления редких земель в процессе седиментации. Водоемы юга Томской области имеют значения La/Yb отношения от 9,6 до 11,6, что соответствует комбинированному – терригенно-хемогенному механизму накопления с преобладанием химической сорбции, где значения La/Yb от 8,22 до 11,61 (Elderfield, 1982; Rollinson, 1994).

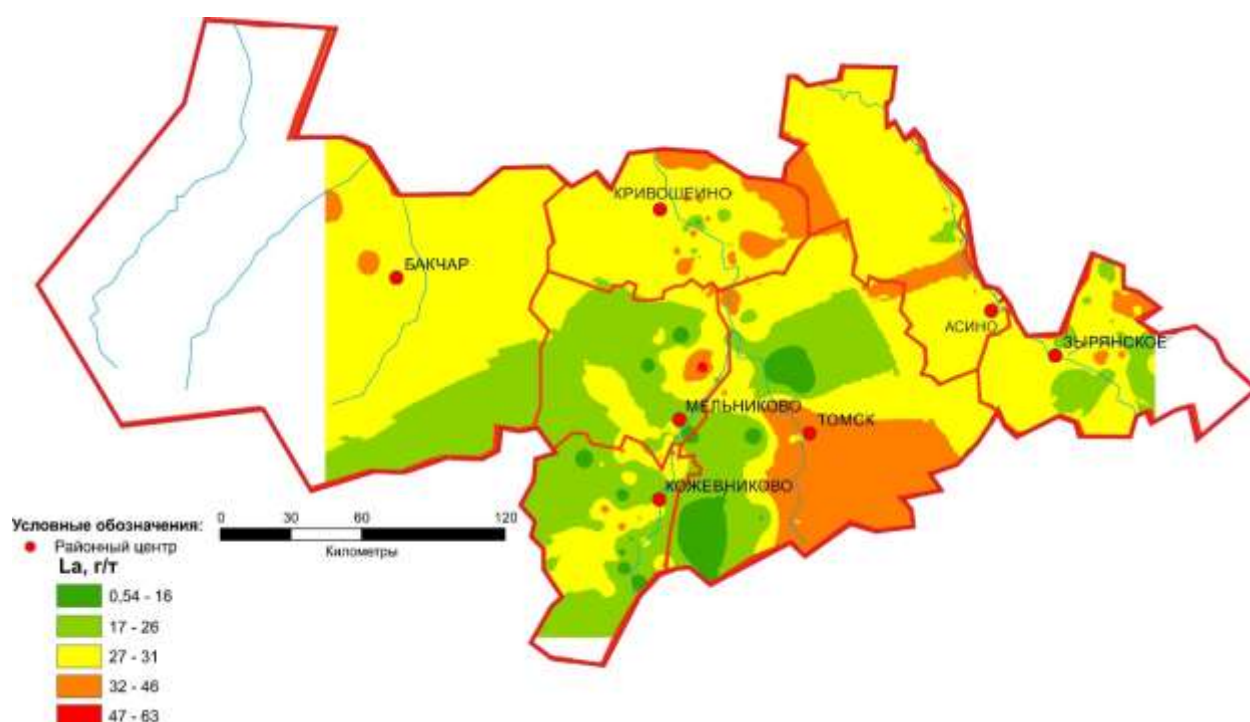


Рисунок 41 – Карта-схема распределения лантана (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

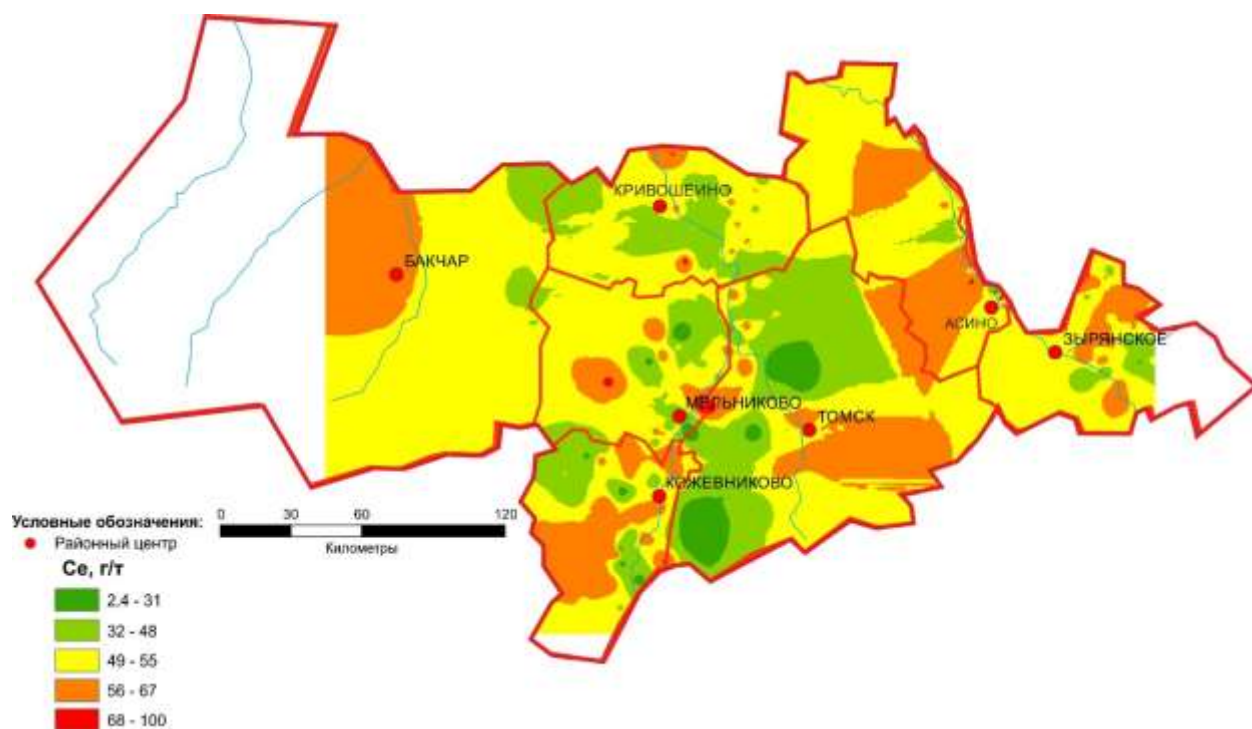


Рисунок 42 – Карта-схема распределения церия (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

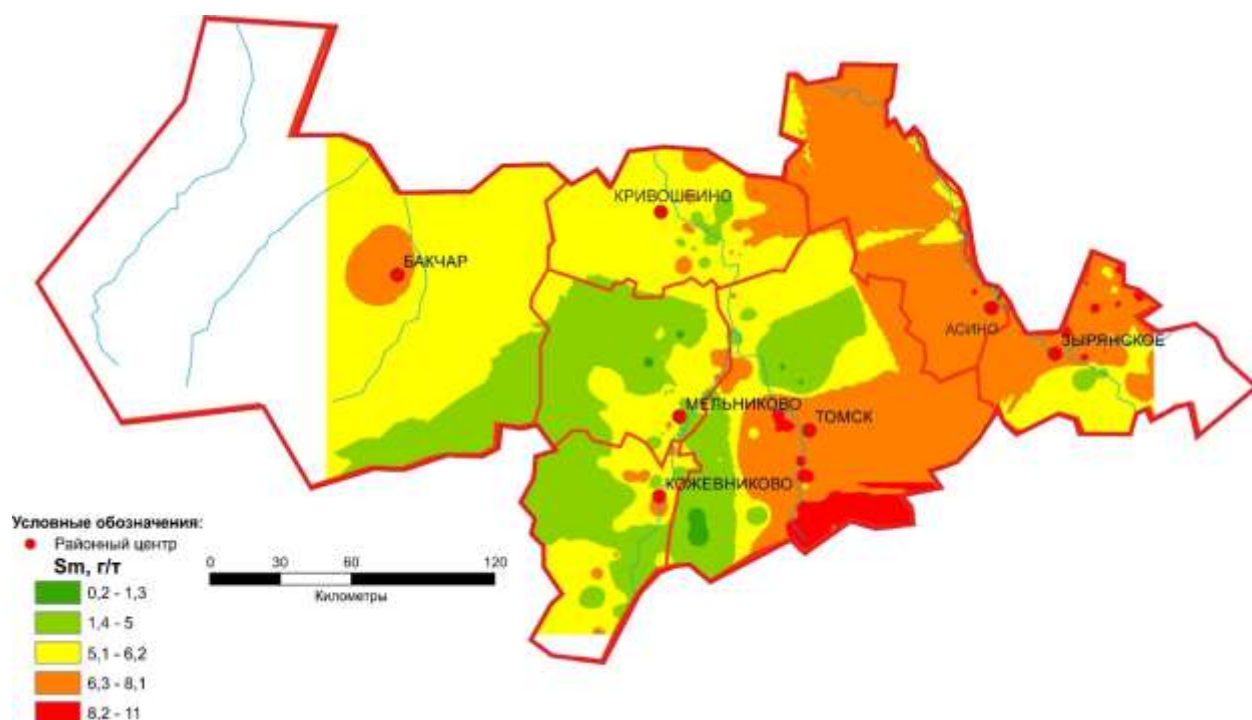


Рисунок 43 – Карта-схема распределения самария (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

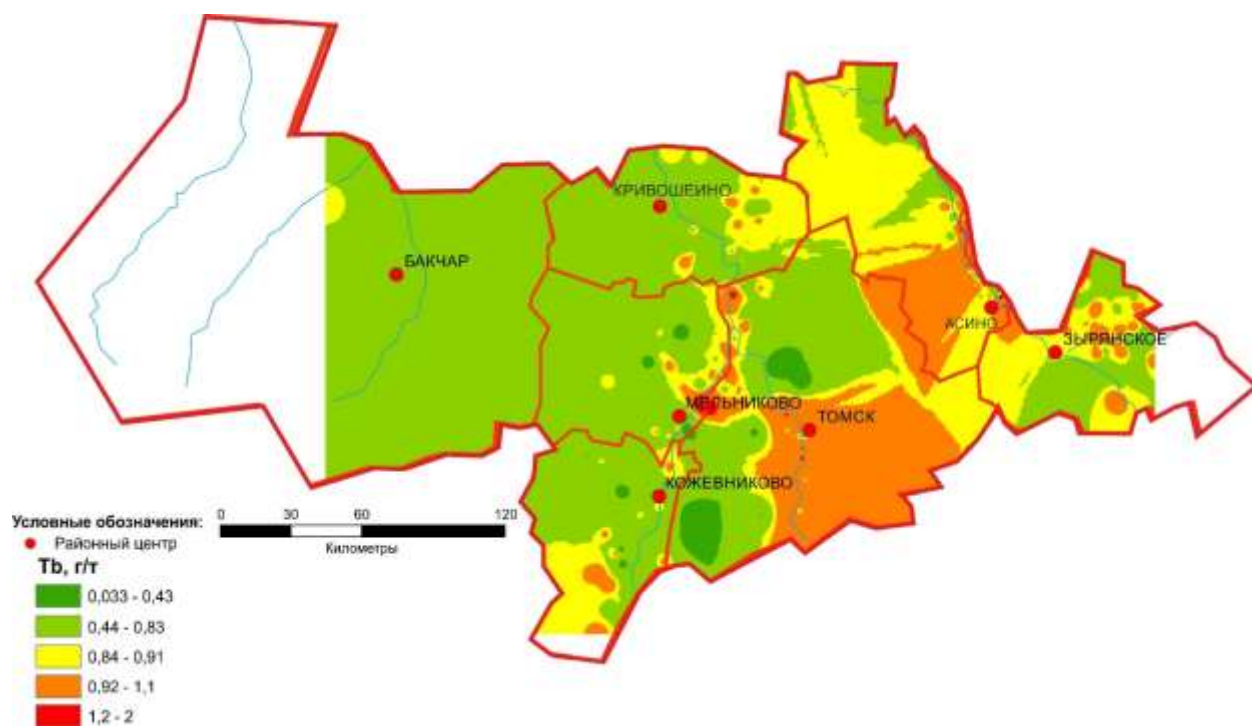


Рисунок 44 – Карта-схема распределения тербия (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

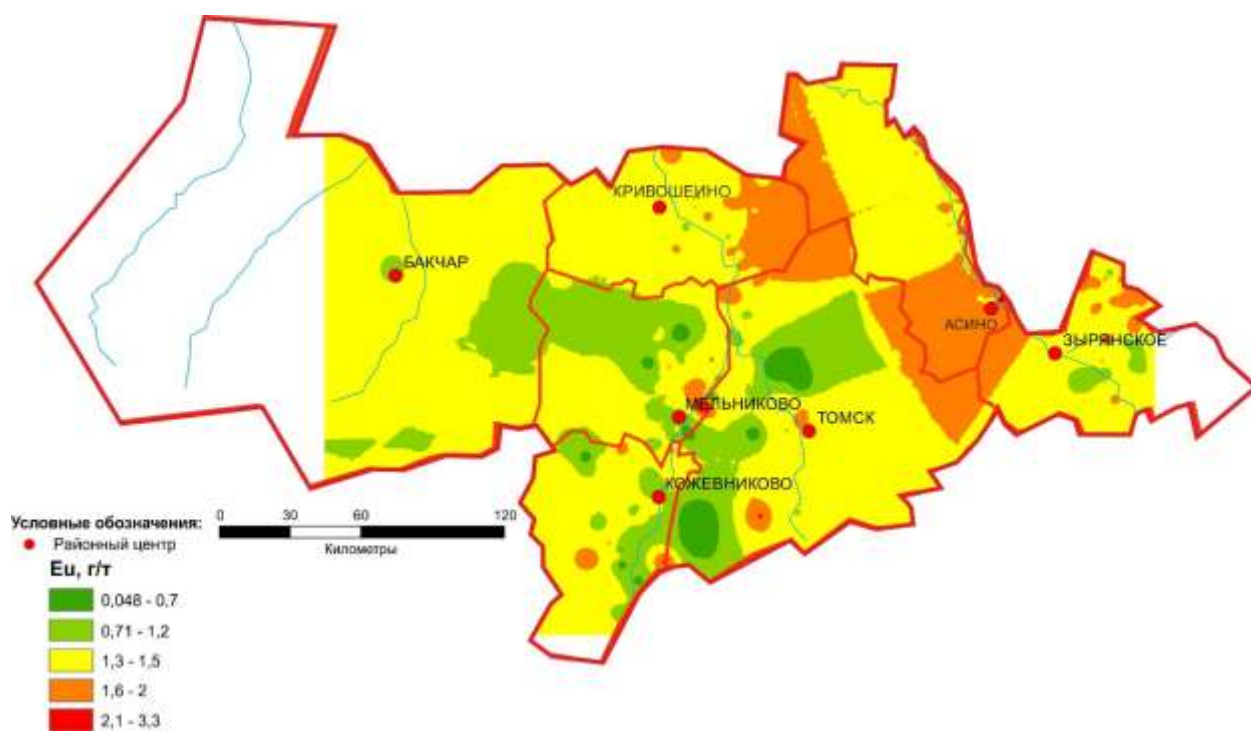


Рисунок 45 – Карта-схема распределения европия (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

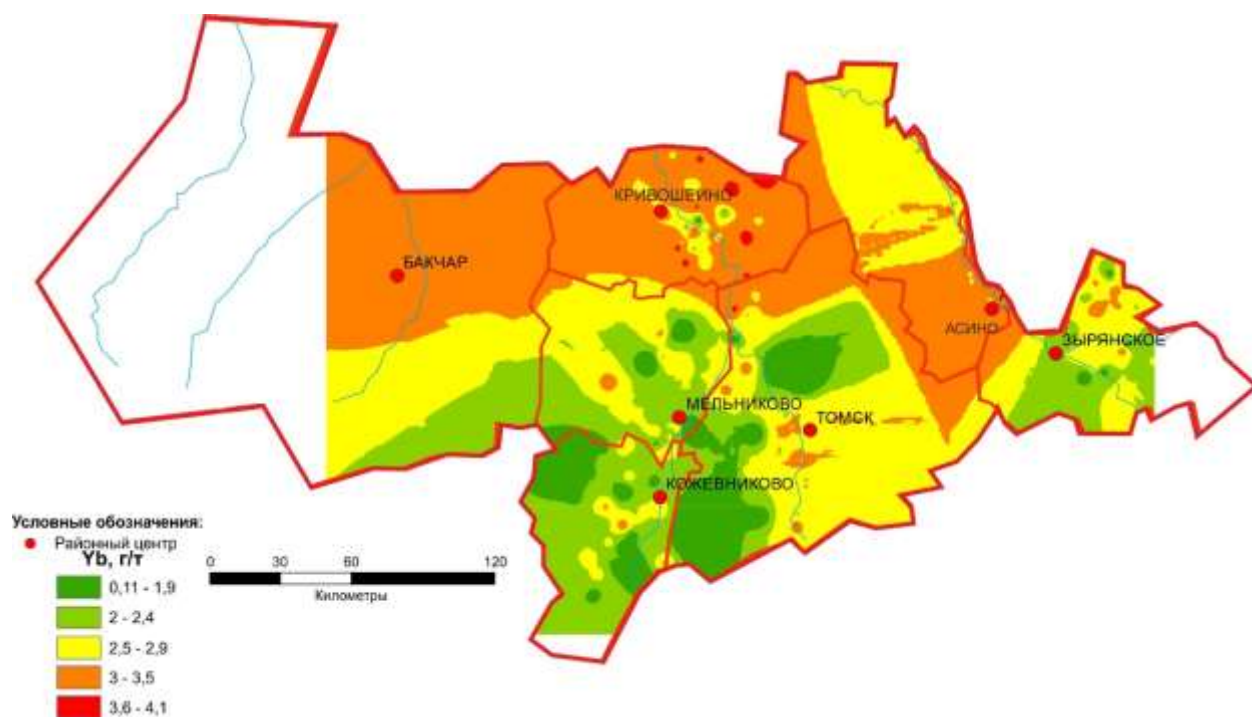


Рисунок 46 – Карта-схема распределения иттербия (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

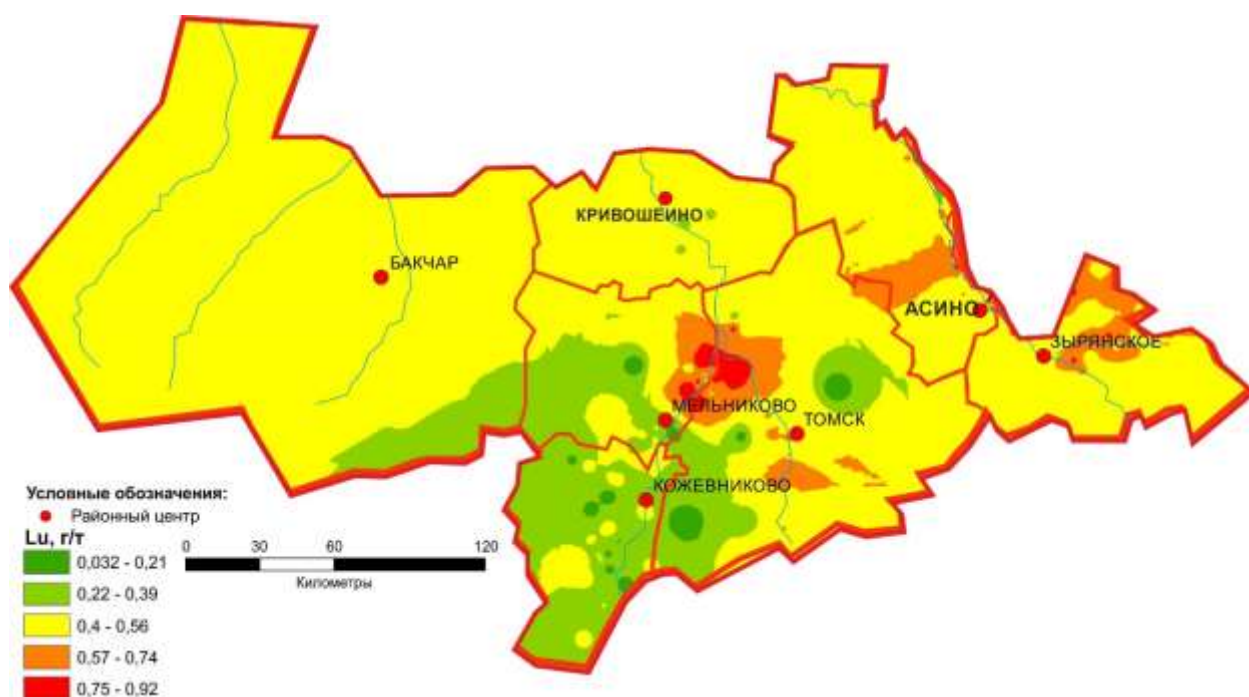


Рисунок 47 – Карта-схема распределения лютеция (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

Барий.

Распределение бария в донных отложениях юга Томской области достаточно неравномерное, средние значения по районам варьируются от 197 до 748 г/т. Максимальные содержания элемента наблюдаются в некоторых водоемах Шегарского, Томского и Кожевниковского районов. В Томском районе максимальные содержания отмечены в водоеме между трассой и озером Тояново 1550 г/т и в протоке Сенная курья 1550 г/т. Максимальные содержания бария в Шегарском районе (1662 г/т) в котловинах около моста через р. Обь. В Кожевниковском районе высокие концентрации установлены в пруду на северной окраине села Аптола – 1350г/т (рисунок 50).

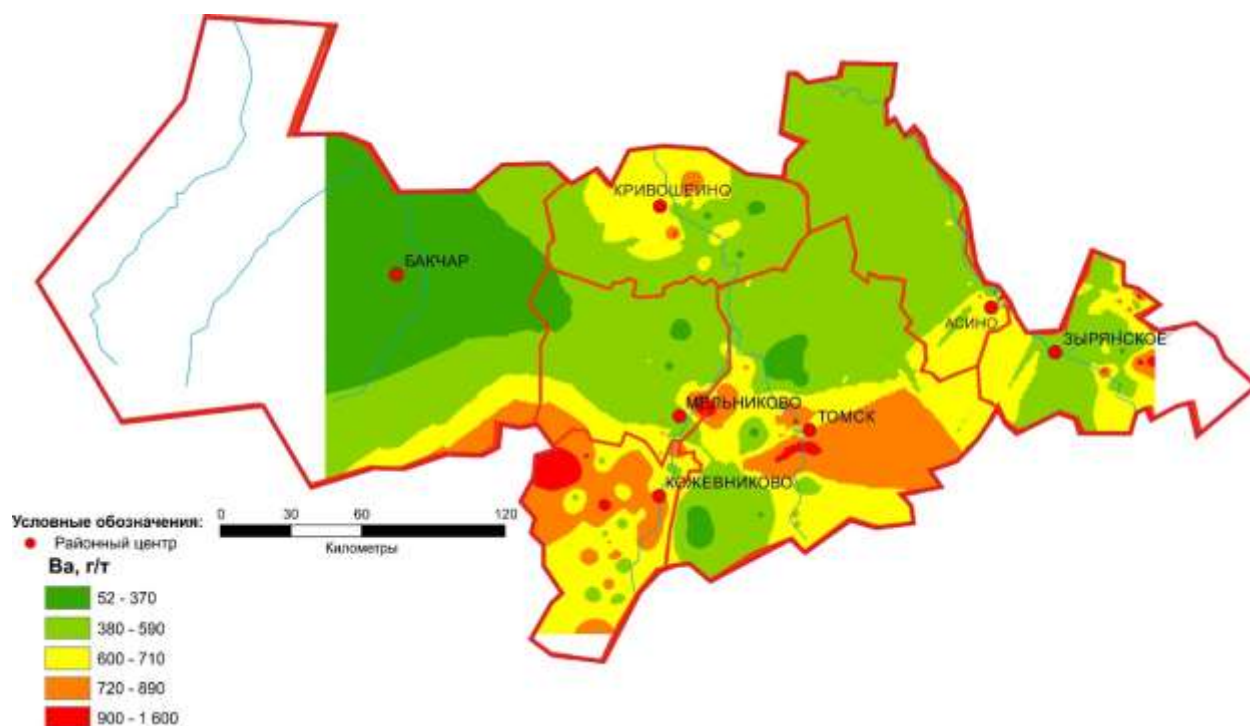


Рисунок 50 – Карта-схема распределения бария (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

Гафний.

Гафний в донных отложениях водоемов юга Томской области характеризуется высоким кларком концентрации. По среднему содержанию гафния выделяется Бакcharский район с повышенным его содержанием 6,9 г/т. (рисунок 51). Повышенные значения этого элемента установлены в почвах и донных отложениях рек Бакcharского района (Шайхиев, Рихванов 2015). Хотя максимальные его концентрации приходятся на Асиновский район в безымянном озере среди покосов, самое южное в пойме "Ржавой курьи" 13,5 г/т, и в Шегарском районе в котловинах около моста через р. Обь. 14,2 г/т.

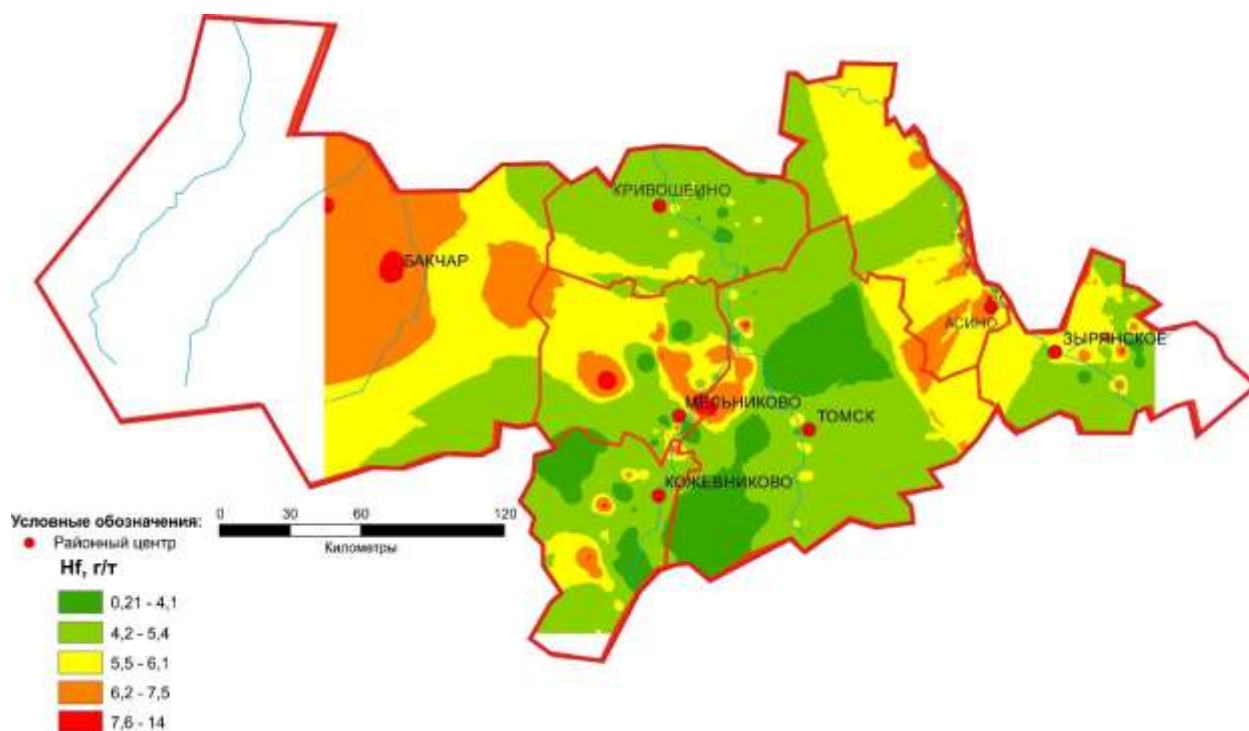


Рисунок 51 – Карта-схема распределения гафния (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

Ртуть.

Распределение ртути в донных отложениях водоемов юга Томской области неравномерное (рисунок 52). Повышенным содержанием отличаются Томский, Шегарский и Зырянский районы. Высокие содержания отмечены в Шегарском районе: 0,8 г/т в озере без названия у западной окраины тракта Мельниково-Кожевниково.

В Томском районе выделяется оз. Тояново (участок р. Кисловка вблизи шоссе) с максимальным содержанием ртути в водоемах юга Томской области - 2,1 г/т. Повышенное содержание может быть связано с тем, что с глубинных горизонтов по зонам тектонической проницаемости происходит миграция подвижных флюидов (Назаров, 2004). Высокие содержания могут выражаться и в наличии на территории Томского района многочисленных ртутных и сурьмяно-ртутных проявлений (Иванова, 1976). Нельзя исключать и техногенную составляющую. Требуется более детальное изучение этой аномалии.

Второй участок с повышенными концентрациями ртути отмечен в правом борту долины реки Тугояковки, в районе сел Батурино и Вершинино, где содержание ртути в нескольких водоемах около 1 г/т. Повышенное содержание ртути в этом районе можно объяснить проходящей рядом зоной прожилково-кварцевой минерализацией с видимым золотом, которая была выявлена в 1980-1982 гг. А.И. Скогоровым и А.П. Бердниковым. Одна из таких зон вскрыта на Батуринском месторождении (Парначев, 2010). В качестве примесей в металле отмечена ртуть (0,12-0,6%), содержание варьирует от 0,02 до 10,8 г/т (Черняев, 2009).

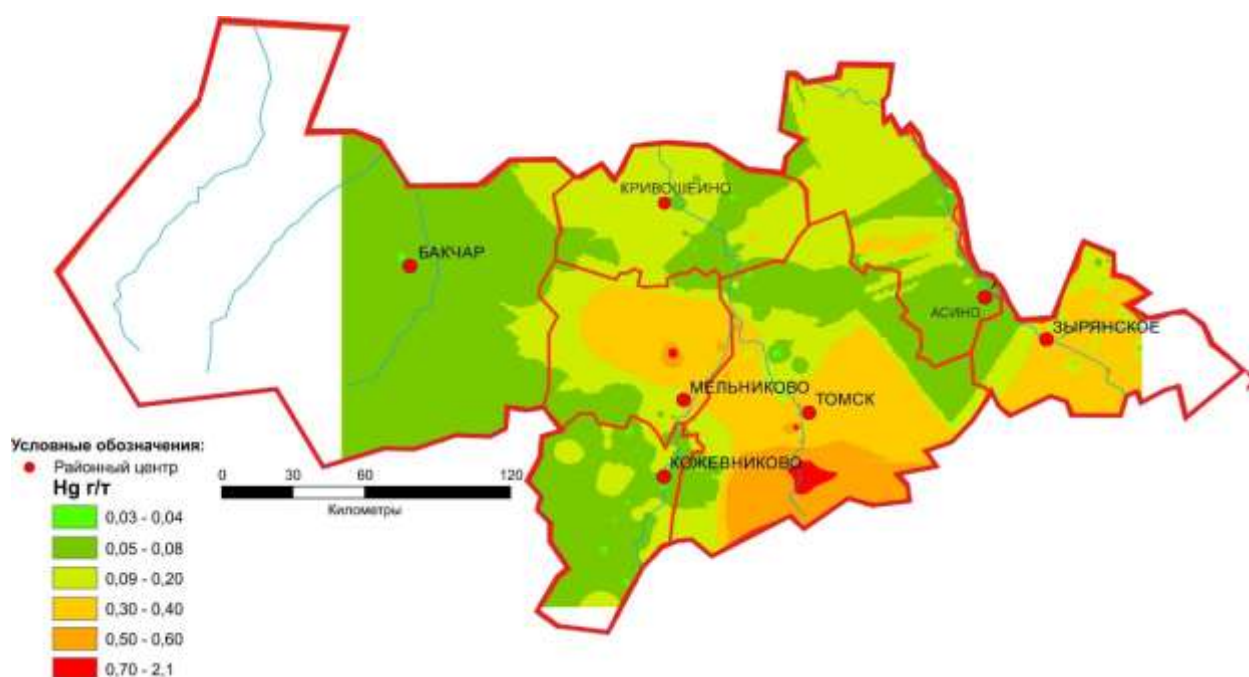


Рисунок 52 – Карта-схема распределения ртути (г/т), в донных осадках малых водоемов юга Томской области

Построенные ассоциативные геохимические ряды элементов в донных отложениях малых водоемах юга Томской области относительно среднего содержания элементов в осадочных породах по Н.А. Григорьеву (2003) наиболее четко отражают геохимическую специализацию каждого из районов юга Томской области (таблица 10).

Таблица 10 – Геохимическая специализация донных осадков малых водоемов юга Томской области по Григорьеву (2003)

Ассоциативный геохимический ряд	
Асиновский район:	Ba_{1,8}-Cr_{1,67}-Eu_{1,61}-Co_{1,52}-Au_{1,48}-Hg_{1,46}-Sc_{1,44}-Hf_{1,41}-Yb_{1,41}-Fe_{1,4}-Tb_{1,28}-Sm_{1,19}-Sb_{1,13}-Lu_{1,3}-Ce_{1,03}-Th_{1,01}-La_{0,9}-U_{0,9}-Ta_{0,87}-Rb_{0,83}-As_{0,77}-Cs_{0,63}-Na_{0,63}-Br_{0,51}-Sr_{0,51}-Ca_{0,3}
Бакcharский район:	Cr_{2,26}-Hf_{1,76}-Yb_{1,58}-Eu_{1,27}-Sc_{1,2}-Lu_{1,14}-Ta_{1,09}-Sm_{1,08}-Ce_{1,06}-Tb_{1,04}-Co_{1,03}-La_{0,96}-Th_{0,94}-Hg_{0,9}-Na_{0,88}-Fe_{0,81}-Rb_{0,62}-Cs_{0,58}-Ba_{0,48}-Sb_{0,36}-Au_{0,33}-Ca_{0,24}-U_{0,14}-Br_{0,07}-Sr_{0,04}
Зырянский район:	Au_{3,4}-Hg_{2,7}-Eu_{1,47}-Ba_{1,45}-Sc_{1,41}-Cr_{1,41}-Hf_{1,32}-Fe_{1,29}-Lu_{1,28}-Yb_{1,26}-Co_{1,25}-Sm_{1,23}-Tb_{1,17}-Sb_{1,07}-Ce_{1,03}-Th₁-Ta_{0,98}-U_{0,95}-Rb_{0,91}-La_{0,88}-Br_{0,74}-Na_{0,67}-Cs_{0,64}-Sr_{0,52}-Ca_{0,18}-As_{0,13}
Кожевниковский район:	As_{1,71}-Au_{1,71}-Ba_{1,67}-U_{1,43}-Sc_{1,3}-Eu_{1,28}-Cr_{1,2}-Hf_{1,17}-Fe_{1,17}-Sb_{1,16}-Hg_{1,15}-Rb_{1,1}-Co_{1,08}-Yb_{1,04}-Tb_{1,01}-Sr₁-Ce_{0,99}-Th_{0,97}-Sm_{0,91}-Lu_{0,8}-La_{0,77}-Ta_{0,71}-Cs_{0,66}-Na_{0,58}-Br_{0,28}-Ca_{0,2}
Кривошеинский район:	Yb_{1,58}-Eu_{1,53}-Au_{1,36}-Sc_{1,36}-Ba_{1,3}-Hf_{1,22}-Na_{1,2}-Co_{1,18}-Hg_{1,17}-Cr_{1,13}-Tb_{1,12}-Fe_{1,12}-Sb_{1,12}-Lu_{1,03}-Sm_{1,02}-Ta_{1,01}-Ce_{0,94}-Th_{0,94}-La_{0,93}-Rb_{0,85}-As_{0,83}-U_{0,78}-Cs_{0,68}-Sr_{0,6}-Ca_{0,2}-Br_{0,04}
Томский район:	Au_{11,7}-Hg_{6,3}-Ba_{1,72}-Eu_{1,4}-Tb_{1,39}-Sm_{1,37}-Yb_{1,33}-Sc_{1,32}-Hf_{1,24}-Cr_{1,2}-Lu_{1,16}-Co_{1,09}-U_{1,05}-Sb₁-Ce_{0,99}-La_{0,98}-Fe_{0,94}-Na_{0,89}-Th_{0,85}-Ta_{0,67}-Rb_{0,56}-Cs_{0,51}-Ca_{0,43}-Br_{0,6}-Sr_{0,7}-As_{0,13}
Шегарский район:	Hg_{3,9}-Hf_{1,54}-Cr_{1,52}-Au_{1,5}-Ba_{1,47}-Sc_{1,43}-Lu_{1,4}-Eu_{1,36}-Tb_{1,26}-Co_{1,25}-Yb_{1,2}-Sb_{1,19}-U_{1,19}-Fe_{1,15}-Ta_{1,14}-Th_{1,08}-Br_{1,05}-Sm₁-Ce₁-La_{0,87}-Rb_{0,8}-Cs_{0,72}-Na_{0,71}-Sr_{0,38}-Ca_{0,28}-As_{0,2}
Томская область:	Au_{3,33}-Hg_{2,5}-Ba_{1,43}-Eu_{1,38}-Cr_{1,38}-Sc_{1,36}-Yb_{1,35}-Hf_{1,31}-Co_{1,24}-Tb_{1,14}-Sm_{1,11}-Fe_{1,1}-Lu_{1,09}-Sb_{1,08}-U_{1,06}-Ce_{0,99}-Th_{0,91}-Ta_{0,9}-La_{0,89}-Rb_{0,85}-Na_{0,77}-As_{0,46}-Cs_{0,42}-Br_{0,4}-Sr_{0,29}-Ca_{0,21}

Примечание: жирным шрифтом выделены элементы с коэффициентом концентрации ≥ 1 , красным цветом выделены элементы с коэффициентом концентрации > 2 .

Для всех районов и для Томской области в целом анализ специфики позволил выявить большой спектр элементов с коэффициентом концентрации более 1. Наиболее контрастно выделяются такие элементы как: Au, Hg и Cr.

Анализ полученных данных показывает, что существует достаточно сильное различие в уровнях их накопления в исследуемом материале, что, скорее всего, отражает металлогенические и геохимические особенности донных отложений малых водоемов на территории каждого из административных районов юга Томской области.

Анализ элементного состава донных отложений водоемов показал, что для юга Томской области характерно накопление следующих элементов: Cr, Fe, Co, Sb, Ba, РЗЭ, Hf, Hg, Au и U. Наиболее контрастно выделяются такие элементы как: Au, Hg и Cr.

В латеральном распределении, повышенное содержание многих элементов хорошо прослеживается в зоне от южной границы области до северной вдоль долины р. Оби в пределах Кожевниковского, Шегарского и Кривошеинского районов. Так же отчетливо выделяется зона обогащения Fe, Cr, Co, Br и лантаноидами на юго-востоке территории, что предположительно связано с Кузнецко-Алатауской областью сноса.

Нельзя исключать и воздействие техногенных процессов на донные отложения водоемов вблизи промышленных центров.

Элементный состав донных отложений малых водоемов юга Томской области, несет обширную информацию об их поступлении и накоплении в донные осадки и может служить индикатором природного или техногенного фактора. Так, например, ртуть в Томском районе в озере Тояново имеет, скорее всего, техногенный характер, а ртуть в районе реки Тугояковка, вероятно, связана с геолого-минерагеническими особенностями района.

ГЛАВА 6. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПРОФИЛЕ ДОННЫХ ОСАДКОВ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ ТОМСКОГО РАЙОНА, ПОДВЕРЖЕННЫХ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Донные отложения очень часто являются источником информации о хронологии поступления техногенных радионуклидов и прочих загрязнителей (хлорорганических соединений, тяжелых металлов и т.д.) в окружающую среду. Эффективность использования донных осадков в качестве маркера для оценки изменчивости состояния окружающей среды отражена в многочисленных работах (Бобров, 1971; Nriagu et al., 1979; Усенков, 1995; Страховенко, 2006; Удачин, 2009; Страховенко и др., 2010). Несмотря на то, что происходит миграция химических элементов в донных осадках, они служат достаточно надежным маркером для определения периодов максимального поступления химических элементов в малые водоемы.

Характер вертикального распределения элементов в донных отложениях малых континентальных озер, зависит от множества факторов, таких как интенсивность атмосферных выпадений, гидрогеологический режим, химические свойства элементов, климатические и окислительно-восстановительные условия и др. (Страховенко, 2006).

Как правило, мощность донного осадка, накопившегося за последнее столетие в малых водоемах, не превышает нескольких десятков сантиметров (Страховенко, 2006). Это позволяет при более детальном опробовании на сравнительно небольшом интервале разреза проследить характер временной изменчивости поступления в донные осадки большой группы химических элементов, изучить закономерности и оценить природу их накопления. В связи с этим был детально изучен характер вертикального распределения химических элементов в донных осадках в некоторых малых водоемах Томского района: озеро Черное, озеро Ларино и озеро в селе Тимирязевское, располагающихся на

различном расстоянии от основного источника техногенного воздействия Томск-Северской промышленной агломерации (рисунок 53).

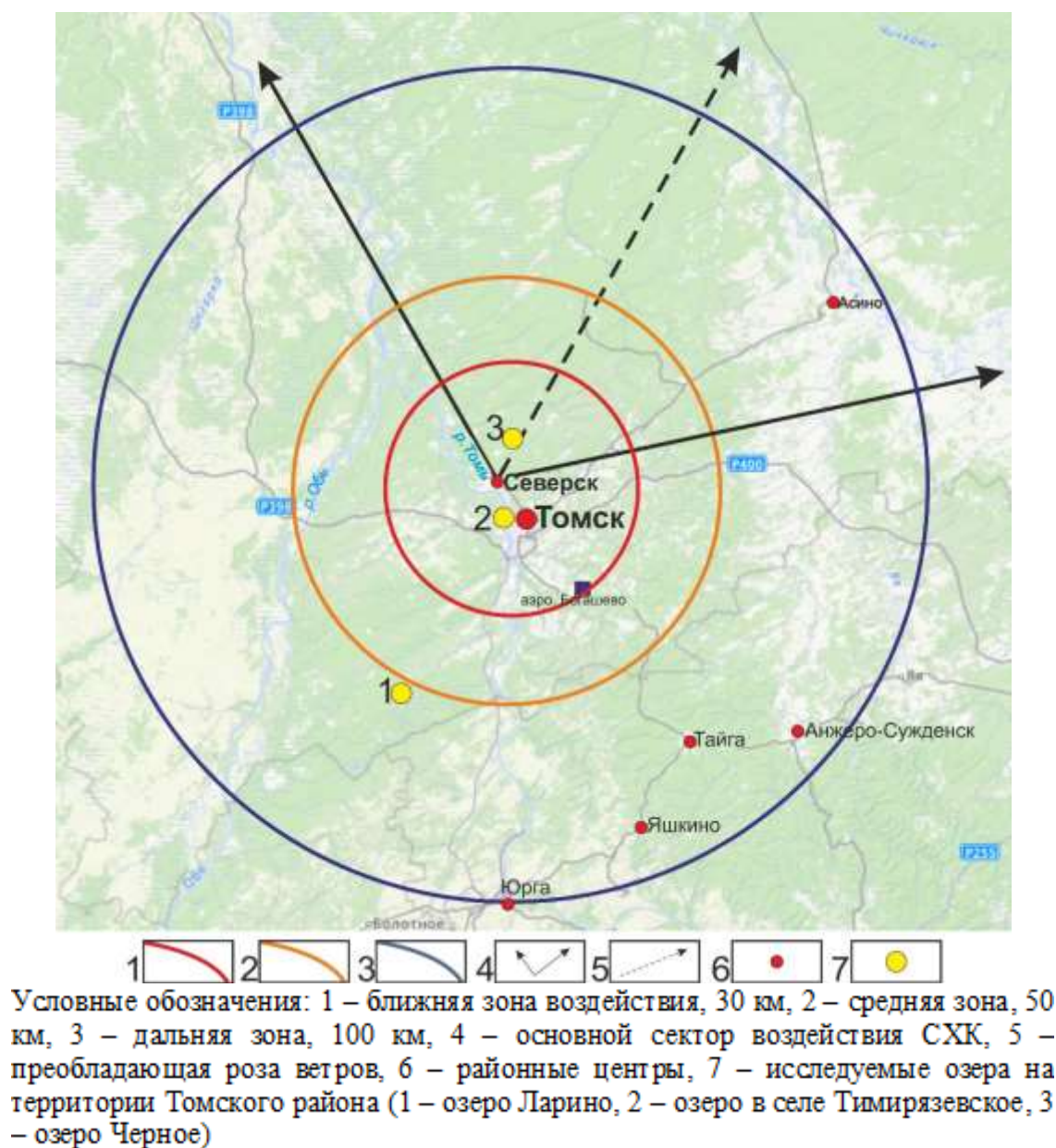


Рисунок 53 – Карта - схема расположения изучаемых озер на территории Томского района

Была изучена специфика изменения химического элементного состава и выявлены вероятные источники привноса химических элементов в донные осадки малых водоемов юга Томского района. Сделана оценка уровней накопления и исследованы закономерности распределения химических элементов в вертикальной колонке донных осадков.

Исследуемые малые водоемы располагаются вдоль основного направления ветра на юго-западе и северо-востоке от г. Томска (рисунок 53). Питание водоемов водоминеральное, осуществляется грунтовыми водами и некоторые из них паводковыми. Все исследуемые водоемы являются пресными.

В городе Томске и его округе находится целый ряд промышленных объектов федерального значения: предприятие госкорпорации «Росатом» СХК, радиотехнический, электротехнический, приборный и др., а также Томский нефтехимический комбинат (ТНХК). Каждый из них оказывает характерное воздействие на окружающую среду, в том числе и на донные отложения (Рихванов, 1997; Рихванов и др., 2006).

Как уже было сказано выше, поинтервальное изменение содержания некоторых химических элементов в колонке донных отложениях более подробно рассмотрено на примере озера Ларино, принятого нами в качестве фонового (Иванов, 2011), старичного озера в селе Тимирязевское, расположенного в черте г. Томска, и Черного озера, расположенного в зоне влияния СХК.

Озеро Ларино расположено в юго-западном от города Томска на расстоянии чуть больше 40 км и рассматривается как объект, находящийся в зоне наименьшего влияния Томск-Северской промышленной агломерации. Озеро размещается среди золовых песков и находится в сосновом бору. Площадь водной глади чуть больше 10 га (520×210 м), средняя глубина составляет 2,8 метра.

Озеро в селе Тимирязевское находится в пойме реки Томи, в левобережье, непосредственно вблизи крутого яра, который ограничивает пойму и представляет собой старичное озеро. Залегает среди песчано-галечниковых пойменных отложений. Площадь водной глади 0,4 га. Озеро вытянутое, длина его составляет свыше 170 метров при ширине 25 метров.

Озеро Черное расположено в северо-восточном направлении от города Томска в зоне непосредственного влияния СХК, на реке Песочке. Площадь водной поверхности 35 га, размеры 450×800 метров.

Анализ характера вертикального распределения химических элементов в разрезе донных осадках малых водоемов Томского района позволил выделить три типа их распределения:

- 1 – тип нормального распределения, без явно выраженных локальных аномалий. Изменчивость содержания химических элементов здесь обусловлена постепенным (эволюционным) изменением состава донных отложений и преимущественно природными факторами.
- 2 – тип слабо дифференцированного распределения с проявлением слабовыраженных аномалий в различных частях донных отложений. Может быть обусловлен как антропогенными, так и природными факторами.
- 3 – тип резко дифференцированного распределения с контрастными аномалиями в верхней части колонки донных отложений, сформировавшимися под воздействием интенсивного изменения окружающей среды, главным образом под влиянием техногенной нагрузки.

Среди изученных петрогенных химических элементов особого внимания заслуживают натрий и кальций, которые отражают различные условия накопления в колонке донных отложений. Натрий указывает на ведущую роль терригенно-иловых осадков, а кальций – карбонатных сапропелей. Для распределения натрия в озере Ларино характерно постепенное накопление его содержания от нижней части разреза до 10 сантиметровой отметки и стабилизация на этом уровне (рисунок 54).

Так как озеро Ларино рассматривается нами как относительно фоновое в отношении техногенного воздействия, то можно сделать вывод, что в последние пятьдесят лет природно-климатические условия сколько-нибудь существенно не изменялись.

В озере располагающемся в селе Тимирязевское отмечается достаточно неравномерный характер распределение натрия с выделением двух пиков максимального его накопления в интервалах 4 и 14 см, что может быть обусловлено как природными факторами в связи с поступлением различного

материала в это озеро в периоды половодий, так и антропогенными составляющими.

В озере Черном очень контрастное накопление Na начинается с 10 сантиметрового интервала. Очевидно, что в этот промежуток времени произошло очень резкое изменение химического состава донных отложений.

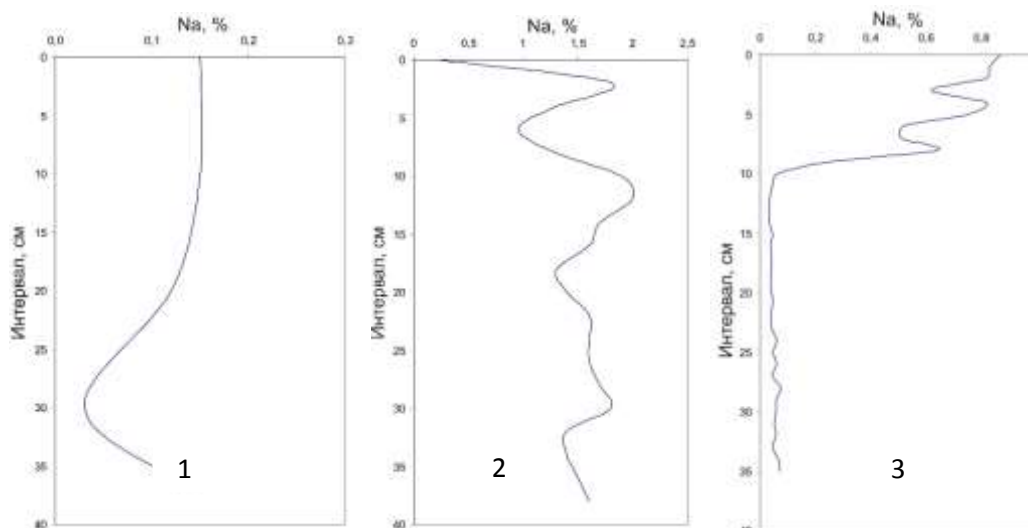


Рисунок 54 – Основные типы распределения Na (%), в колонке донных осадков: 1 – тип равномерного распределения со слабо проявленными аномалиями (озеро Ларино); 2 – тип слабо дифференцированного распределения с проявлением слабовыраженных аномалий в верхней части (озеро в селе Тимирязевское); 3 – тип резко дифференцированного распределения с контрастными аномалиями (озеро Черное)

Характер накопления Са в колонке донных отложений резко отличается от накопления Na и характеризует смену сапропелево-карбонатных донных отложений терригенными и иловыми и наоборот. В озере Ларино оно накопление достаточно равномерно, в старичном озере села Тимирязевское слабо дифференцированное, а в озере Черном – резко дифференцированно. В последнем случае содержание кальция уменьшается с 32 % на 10 сантиметровой глубине (превышение среднего значения в донных отложениях региона более чем в 17 раз) до 2 % на глубине от 0 до 8 см (рисунок 55).

В озере Ларино содержание Ca хоть достаточно равномерное, и изменяется в небольшом пределе – от 0,4 до 0,6 %. В озере в селе Тимирязевское накопление слабо дифференцированное, максимальные пики приходятся на 15 и 23 сантиметра, а с 10 сантиметрового интервала происходит постепенное его накопление.

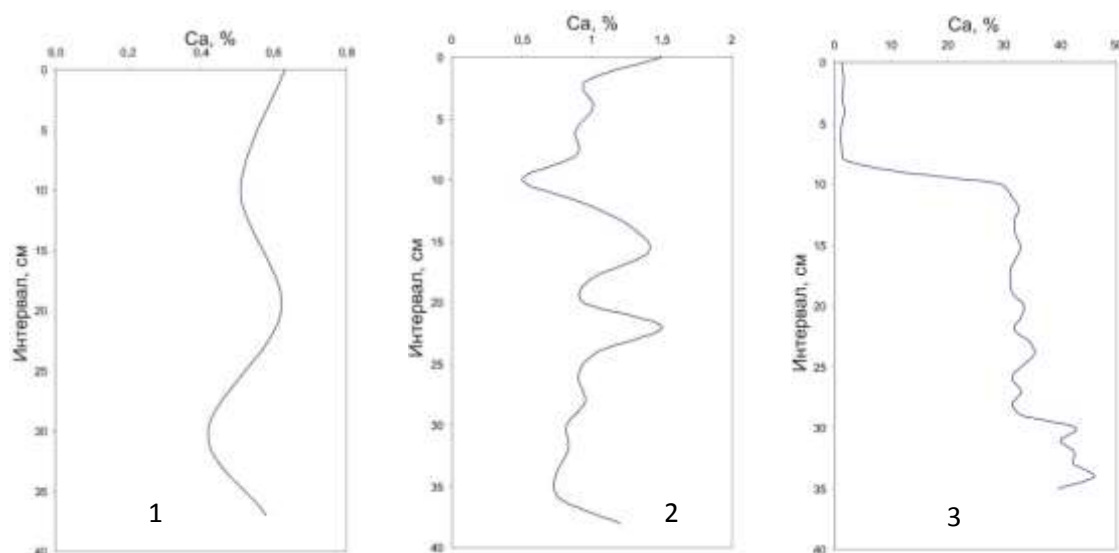


Рисунок 55 – Основные типы распределения Ca (%), в колонке донных осадков (условные обозначения смотри на рисунке 54): 1 – озеро Ларино; 2 – озеро в селе Тимирязевское; 3 – озеро Черное

Распределение железа в вертикальном профиле донных отложений в большей степени схоже с распределением натрия, чем на распределение геохимически близкого к нему кальция, что, скорее всего, указывает на терригенную природу его накопления в изучаемых водоемах. В озере Черном накопление происходит в верхней части разреза донных отложений начиная с 10 сантиметрового интервала. Аналогичное поведение в верхней части разреза наблюдается и в озере села Тимирязевское, где накопление начинается с 10 сантиметрового интервала (рисунок 56).

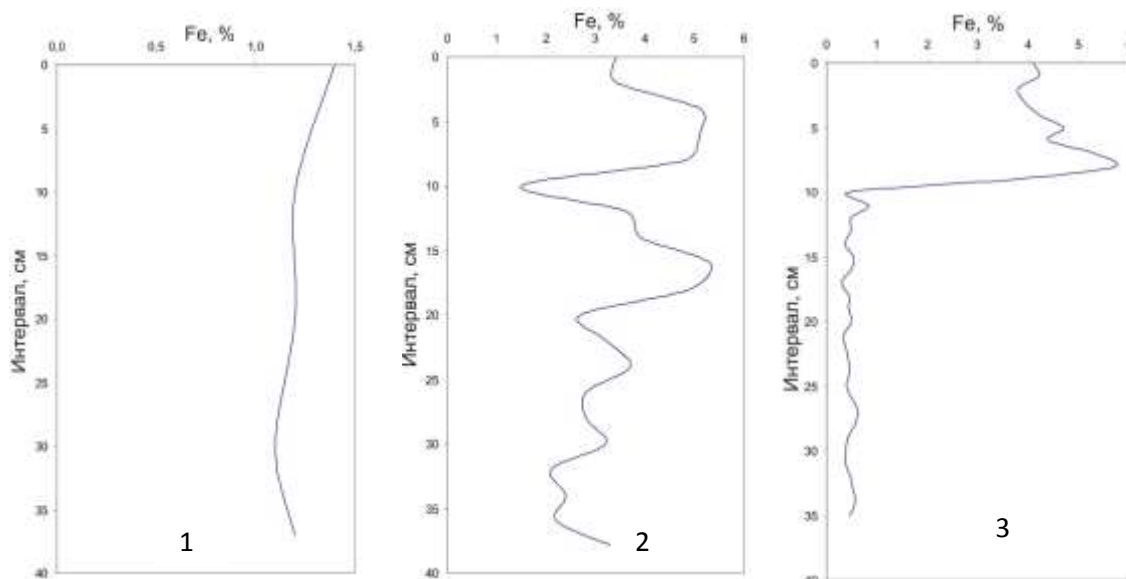


Рисунок 56 – Основные типы распределения Fe (%), в колонке донных осадков (условные обозначения смотри на рисунке 54): 1 – озеро Ларино; 2 – озеро в селе Тимирязевское; 3 – озеро Черное

Микроэлементы часто являются более чувствительными, чем макроэлементы, к смене геохимической обстановки и могут более четко отражать изменение условий накопления донных осадков во времени.

Схожий характер распределения во всех изученных нами малых водоемах показывают элементы-гидролизаты: лантаноиды, гафний, скандий и торий. Вертикальное распределение лантаноидов в колонке донных осадков малых водоемов Томского района имеет дифференцированный характер распределения. В озере Черном, практически во всех изученных разрезах, лантаноиды накапливаются с 10 сантиметрового интервала, что, скорее всего, связано с антропогенной составляющей, обусловившей смену карбонатно-сапропелевых условий накопления на терригенно-илистые (рисунок 57 - 60). В других изученных водоемах роль техногенного фактора отчетливо не просматривается.

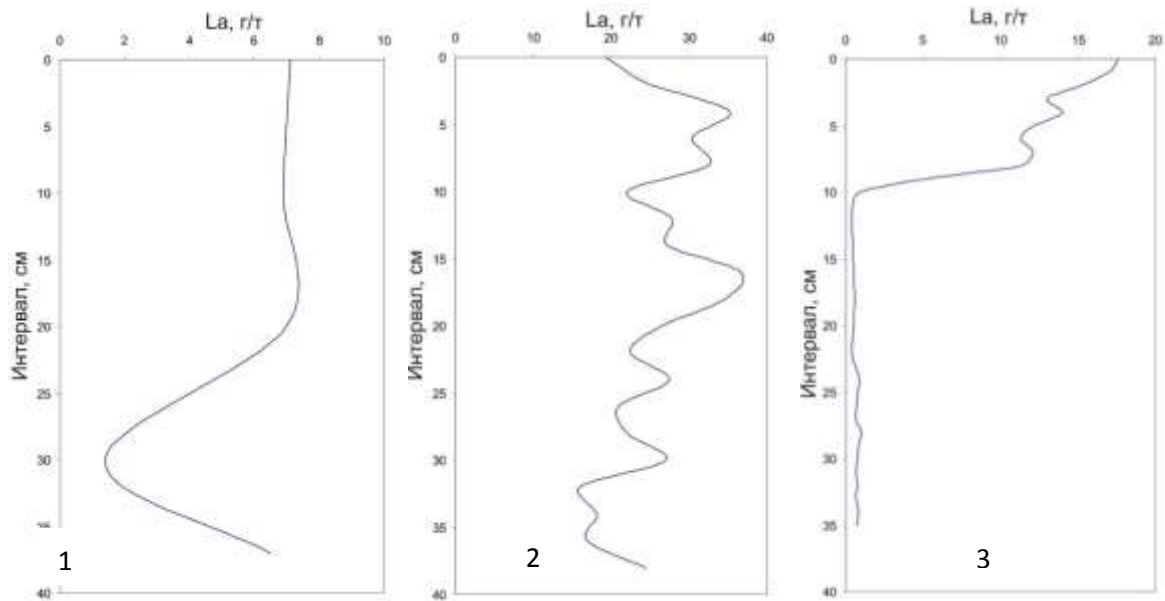


Рисунок 57 – Типы распределения La (г/т), в колонке донных осадков (условные обозначения смотри на рисунке 54): 1 – озеро Ларино; 2 – озеро в селе Тимирязевское; 3 – озеро Черное

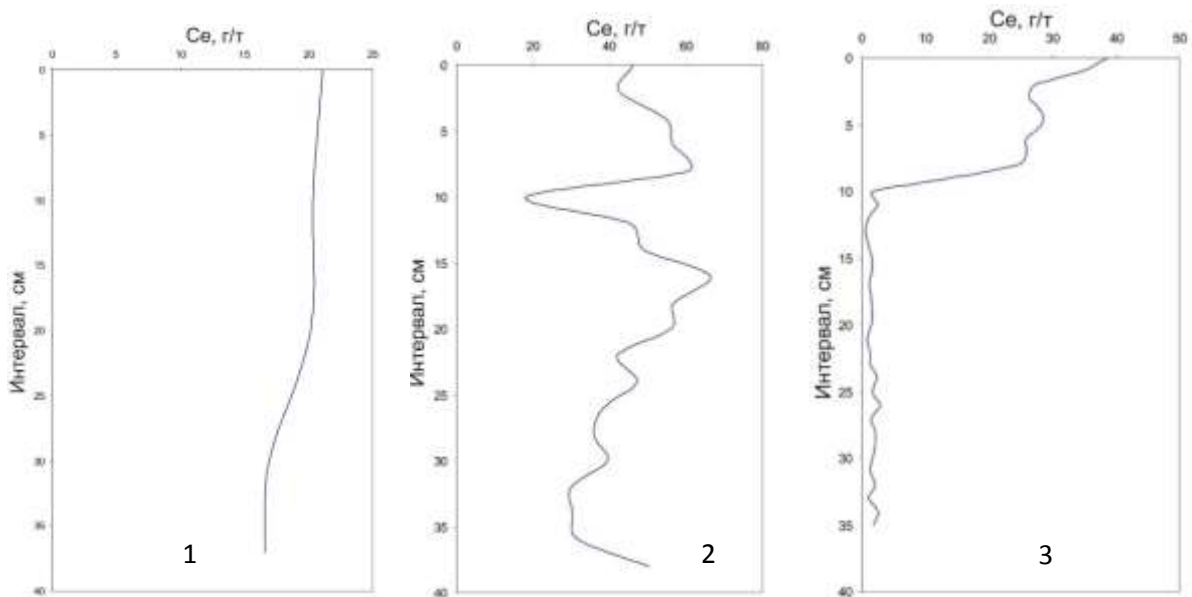


Рисунок 58 – Типы распределения Se (г/т), в колонке донных осадков (условные обозначения смотри на рисунке 54): 1 – озеро Ларино; 2 – озеро в селе Тимирязевское; 3 – озеро Черное

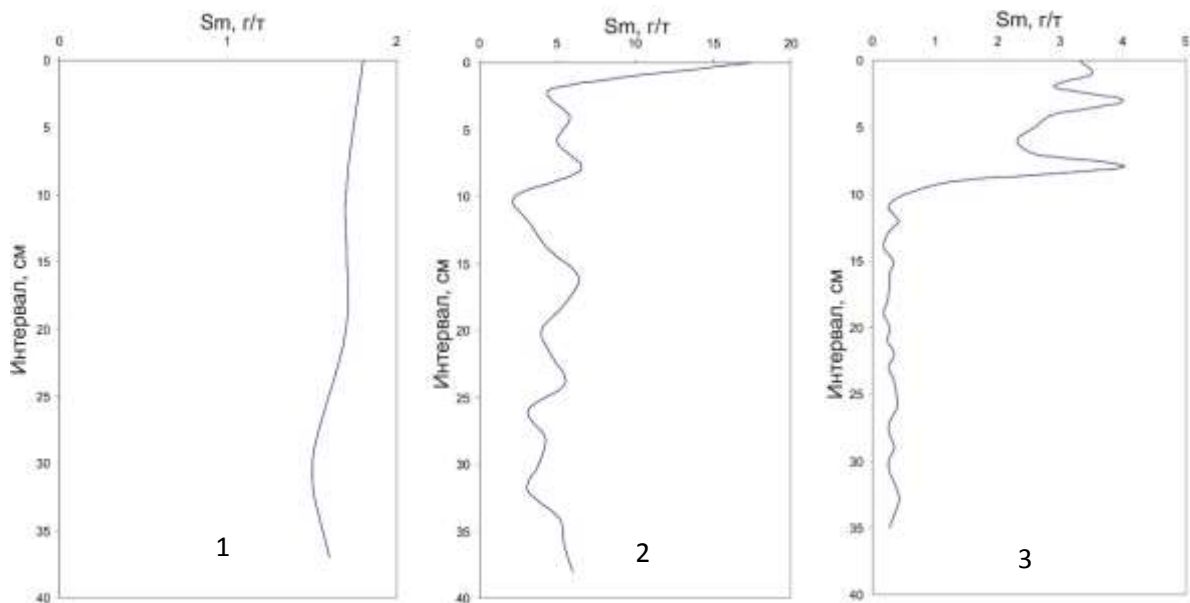


Рисунок 59 – Типы распределения Sm (г/т), в колонке донных осадков (условные обозначения смотри на рисунке 54): 1 – озеро Ларино; 2 – озеро в селе Тимирязевское; 3 – озеро Черное

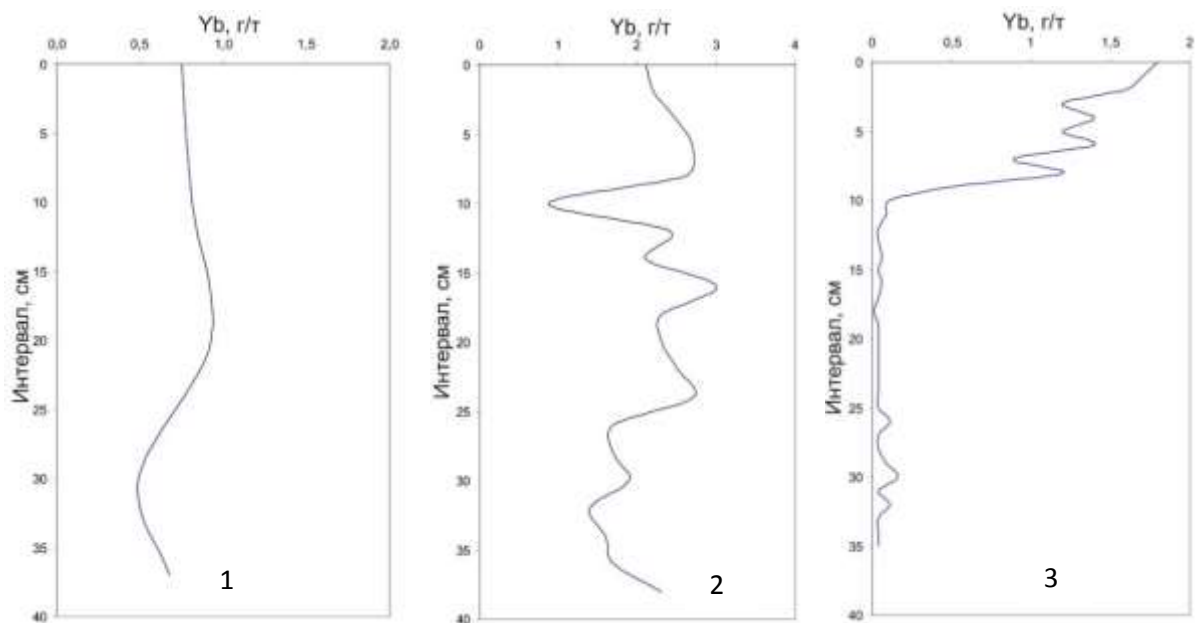


Рисунок 60 – Типы распределения Yb (г/т), в колонке донных осадков (условные обозначения смотри на рисунке 54): 1 – озеро Ларино; 2 – озеро в селе Тимирязевское; 3 – озеро Черное

В целом графики вертикального распределения La, Ce, Sm, Yb в колонке донных отложений каждого исследуемого водоема схожи (рисунок 57 - 60). Это

сходство объясняется поведением лантаноидов в биогеохимических, геохимических и других системах (Иванов, 1996; Aubert et al., 2006).

Hf имеет схожее распределение с такими химическими элементами, как Sc и Fe, во всех трех изучаемых водоемах (рисунок 61). В озере Ларино происходит очень равномерное накопление гафния. В Черном озере и озере в селе Тимирязевское пики накопления элемента начинаются с 10 сантиметровой глубины.

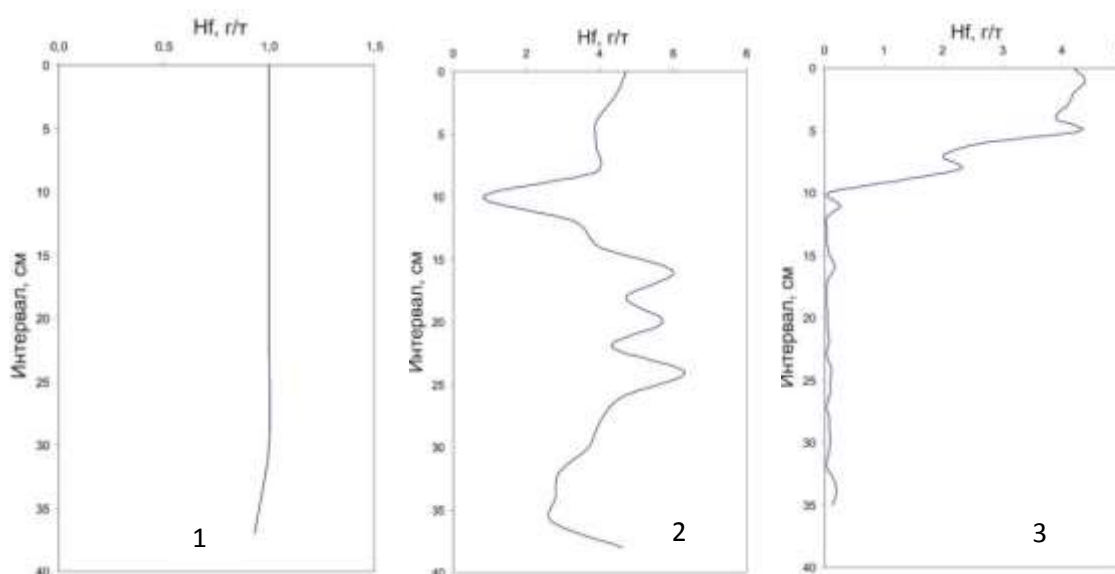


Рисунок 61 – Типы распределения Hf (г/т), в колонке донных осадков (условные обозначения смотри на рисунке 54): 1 – озеро Ларино; 2 – озеро в селе Тимирязевское; 3 – озеро Черное

Au в изученных водоемах характеризуется дифференцированным накоплением по всей колонке донных отложений, имеющий аналогичный характер по своему накоплению с основными типами распределения Au в верховых болотах (Arbuzov et al., 2006; Межибор, 2009). Максимальные пики Au в Черном озере и озере в селе Тимирязевское находятся в верхней части разреза, накопление происходит в интервале 5сантиметров. Озеро Ларино отличается наиболее плавным «зигзагообразным» накоплением элемента (рисунок 62).

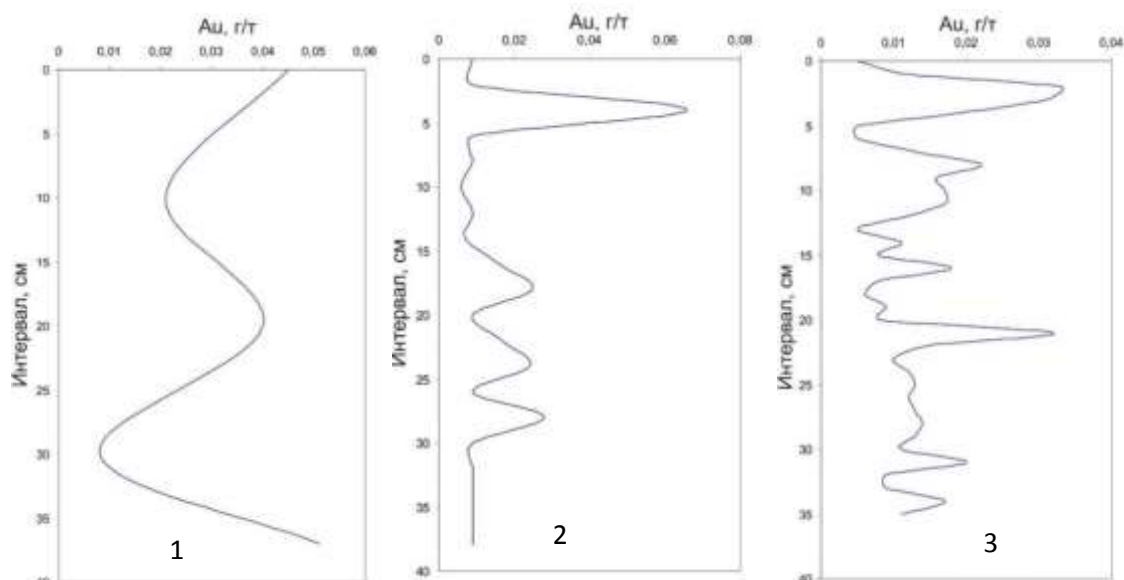


Рисунок 62 – Типы распределения Au (г/т), в колонке донных осадков (условные обозначения смотри на рисунке 54): 1 – озеро Ларино; 2 – озеро в селе Тимирязевское; 3 – озеро Черное

Характер распределения Th в изучаемых водоемах весьма схож по характеру накопления с большей частью других химических элементами (Fe, Na, La, Hf, Yb) (рисунок 63). Озеро Ларино характеризуется плавным накоплением элемента. В озере Черном и озере в селе Тимирязевское отмечается дифференцированный тип накопления элемента.

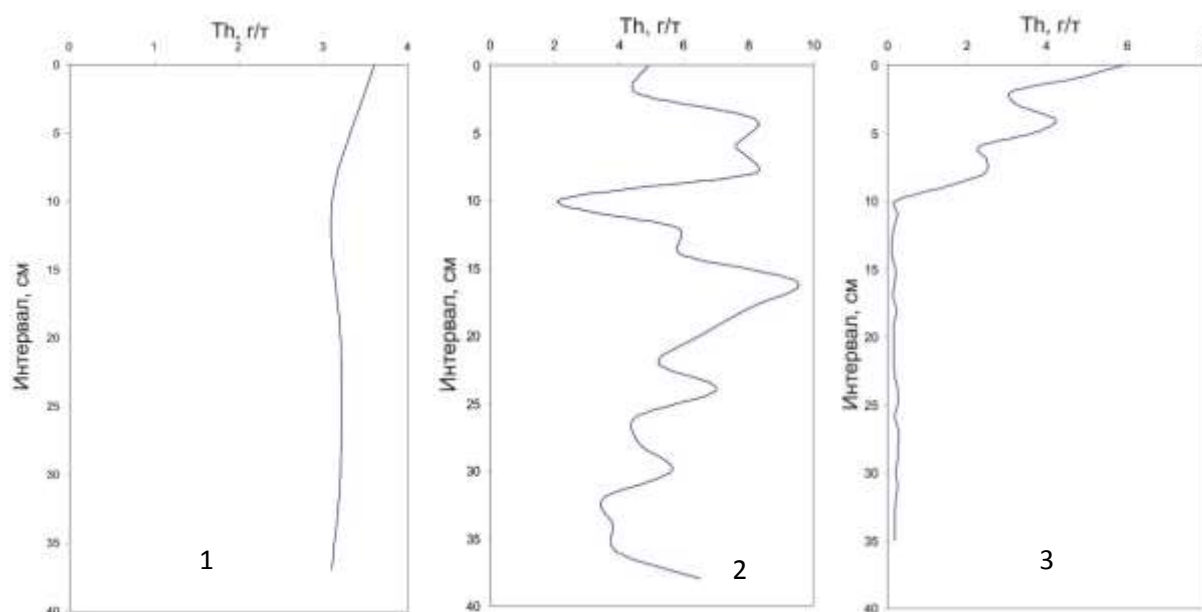


Рисунок 63 – Типы распределения Th (г/т), в колонке донных осадков (условные обозначения смотри на рисунке 54): 1 – озеро Ларино; 2 – озеро в селе Тимирязевское; 3 – озеро Черное

Содержание U в озере в селе Тимирязевское и в озере Черное достаточно неравномерное (рисунок 64). U в озере Черном имеет такой же характер накопления, как и большинства других элементов-гидролизатов: железа, лантана, церия, самария, иттербия, гафния и тория, где пики также начинаются с 10 сантиметрового интервала в изученной колонке донных осадков. Распределение урана в разрезе озера Ларино достаточно равномерное.

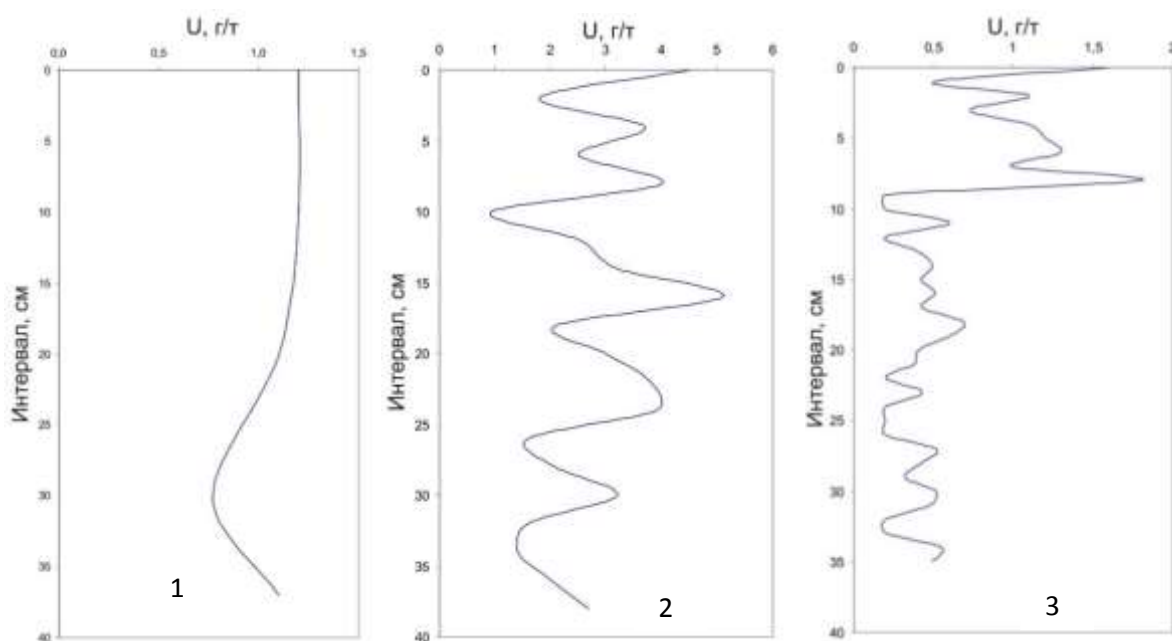


Рисунок 64 – Типы распределения U (г/т), в колонке донных осадков (условные обозначения смотри на рисунке 54): 1 – озеро Ларино; 2 – озеро в селе Тимирязевское; 3 – озеро Черное

Th/U-отношение в вертикальной колонке донных отложений озера Ларино достаточно выдержанное, что указывает на его природный характер накопления.

В озере в селе Тимирязевское Th/U отношение имеет дифференцированный характер распределения, что, вероятнее, связано с природно-климатическими условиями исследуемого водоема, в частности с затопляемостью территории, и указывает на разные механизмы поступления урана в донные отложения.

Донные осадки Черного озера характеризуются относительно выдержанным низким Th/U-отношением в нижней части разреза, а с глубины 10 см оно существенно возрастает, и сменяются резко дифференцированным типом

распределения (рисунок 65). Этот факт согласуется с данными по другим химическим элементам и указывает на изменение условий осадконакопления в этот период и на возрастание роли кластогенного поступления радиоактивных элементов в данный водоем.

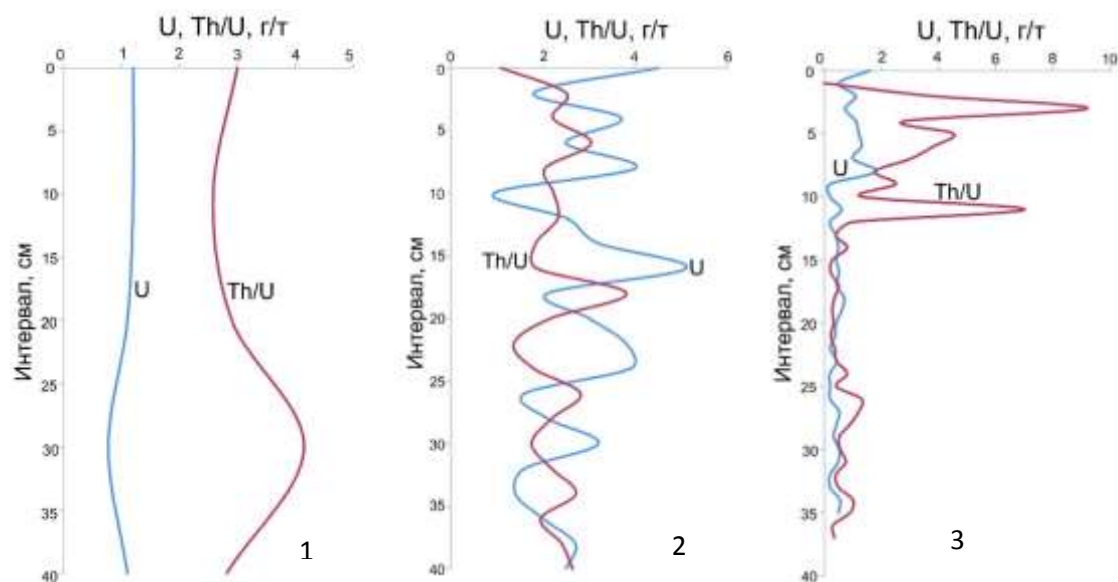


Рисунок 66 – Th/U-отношение в колонке донных осадков (условные обозначения смотри на рисунке 54): 1 – озеро Ларино; 2 – озеро в селе Тимирязевское; 3 – озеро Черное

Распределение ртути в колонке донных отложений озера Ларино достаточно равномерное, ярко выраженные аномалии не установлены, что указывает на природный характер накопления.

Озеро, расположенное в селе Тимирязевское, отличается слабовыраженными аномалиями в верхней части колонки донных осадков. Появление таких аномалий может быть связано как с природным, так и антропогенным фактором. Показательно, что в этом же интервале характер накопления Hg последовательно увеличивается из года в год, что отражает общую динамику глобального накопления этого элемента в биосфере (Эйрих и др, 2010).

Характер накопления ртути в Черном озере весьма схож по структуре накопления со многими другими химическими элементами, такими как Na, Fe,

Hf, La, Yb, Th и др. (рисунок 67). Отмечается один и тот же интервал устойчивого возрастания ее концентрации, начиная 10 сантиметровой глубины (Иванов, 2015). Аналогичным характером распределения Hg обладают донные отложения озера Мичиган (США), расположенного в промышленном районе, где содержание Hg в вертикальной колонке донных осадков увеличивается с низу вверх: от 0,03–0,06 г/т в нижних горизонтах до 0,38 г/т в верхнем поверхностном слое (Kennedy et al., 1971).

Это связано с началом промышленной революции в США, где кроме ртути изменились и многие другие химические показатели. Наибольшие изменения в озере Мичиган произошли за период с 1900 по 1960 гг. (Beeton, 1965).

Со сточными водами в озеро стали поступать, хлорорганические соединения, соли тяжелых металлов и токсичные вещества, которые в большом количестве накапливались в водных микроорганизмах и донных осадках. Так, кроме содержания ртути, возросло и содержание свинца в донных отложениях озера Мичиган с 40 до 160 мг/кг сухого веса за период 1900 по 1975 гг. (Edgington, Robbins, 1976).

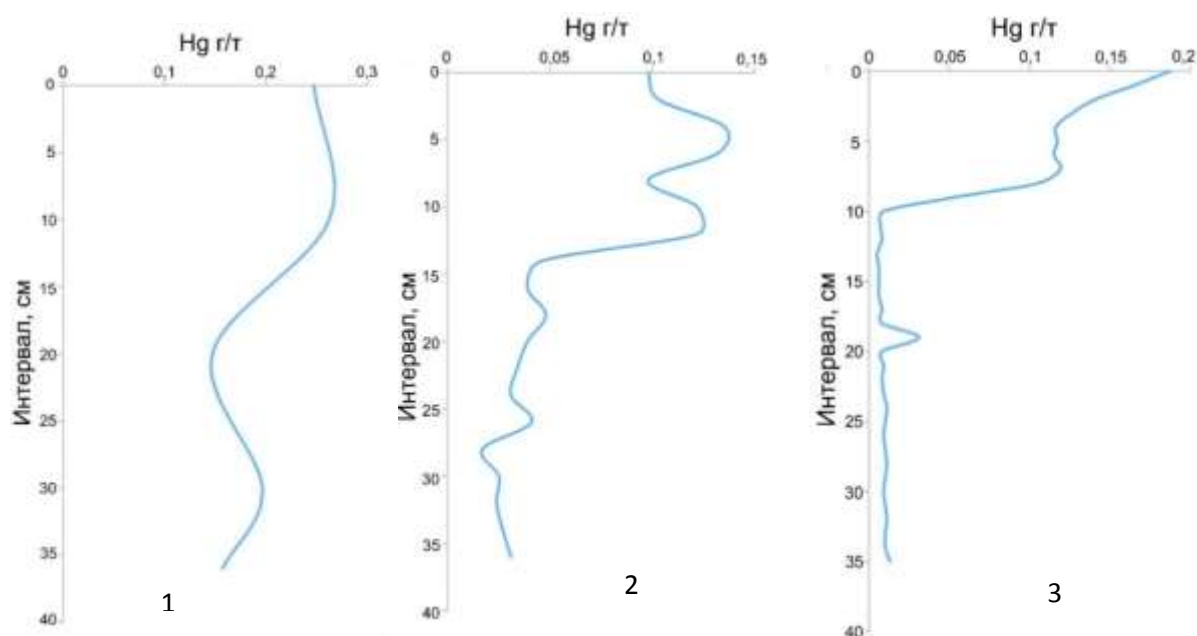


Рисунок 67 – Основные типы распределения Hg (г/т), в колонке донных осадков (условные обозначения смотри на рисунке 54): 1 – озеро Ларино; 2 – озеро в селе Тимирязевское; 3 – Черное озеро

Следует отметить, что происходит накопление не только Hg, но и всех других нами изученных химических элементов в колонке донных отложений Черного озера.

Пики концентрации приходятся на 10-сантиметровую глубину. Методом датирования с использованием изотопа ^{210}Pb (Титаева, 2010), определен точный возраст донных отложений в озере Черное. Отметка в 10 сантиметров соответствует 1955 году (рисунок 68 а). Первым, использовавший ^{210}Pb в качестве инструмента для определения конкретного возраста накопления осадков, был Голдберг (Goldberg, 1963). В основу метода была использована оценка остаточной радиоактивности в осадках ^{210}Pb атмосферного происхождения (Appleby, 1978).

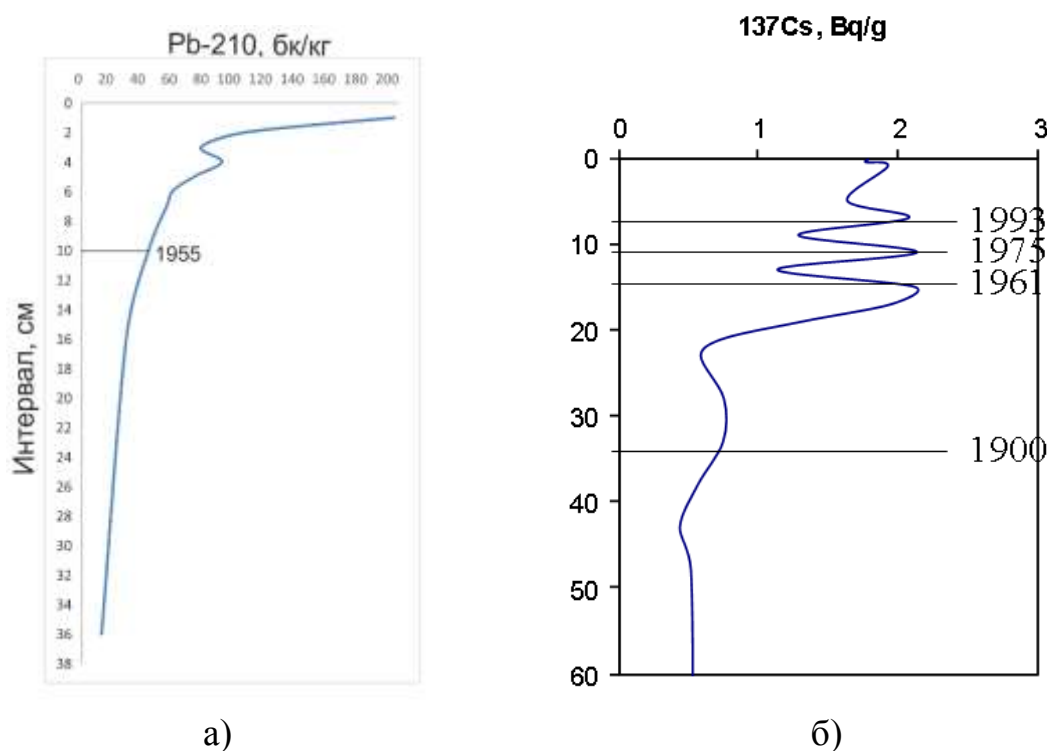


Рисунок 68 – а) Вертикальное распределение концентрации ^{210}Pb (Бк/кг), в вертикальной колонке донных осадков Черного озера б) вертикальное распределение концентрации ^{137}Cs (Бк/кг), в верхней части торфяных разрезов находящихся в зоне влияния СХК (Gauthier-Lafaye et al., 2008)

График вертикального распределения ^{210}Pb в верхней части донных отложений озера Черное очень схож с графиком распределением ^{137}Cs в верхней части торфяных разрезов, находящихся в зоне влияния Томск-Северского ядерного объекта, где с помощью торфяных разрезов определены временные интервалы (Gauthier-Lafaye et al., 2008).

Резкое увеличение содержания всех химических элементов в донных отложениях, кроме кальция и стронция, имеющих другую тенденцию накопления, говорит о резкой смене на этом рубеже геохимической обстановки. Такая смена, скорее всего, связана с быстрыми темпами строительства СХК начиная с 1951 г., с поэтапным введением Северской ТЭЦ, работающей на угле, в период с 1953 по 1961 гг., а также с запуском первого атомного реактора И-1 в 1955 г. (Электронная энциклопедия), оказавших влияние на биоту, состав вод и на особенности водно-минерального питания Черного озера. Так как поступление большинства элементов в донных отложениях, торфяниках и т.д., таких как: барий, хром, мышьяк, уран, церий, лантан, кобальт, торий и др., происходит от сжигания угля (Рихванов, 1997; Алексеенко, 2000). Такие изменения обусловили смену карбонатно-сапропелевых донных отложений терригенно-илистыми.

Аналогичный характер накопления отмечен в пресноводных озерах, охватывающих огромную территорию в непосредственной зоне влияния угольных электростанций в провинции Альберта (Канада). В донных осадках изученных озер установлено существенное повышение содержания Hg, связанное с работой угольных ТЭС начиная с 1956 г. (Sanei et al., 2010).

Схожее распределение практически всех изученных элементов-примесей отображено в работе Межибор А.М. (2009) (рисунок 69). В качестве примера рассмотрен торфяник Петропавловский Рям (зона влияния СХК), где характер накопления химических элементов приходится на верхнюю часть разреза, что, скорее всего, связано с бешеным темпом развития промышленности в этот период. В вертикальном распределении элементов хорошо выделяются два характерных пика, первый пик приходится на 5-7 см. отражающий аварию на

СХК в 1993 г., второй пик отмечен в интервале 17-19 см., что соответствует периоду интенсивных испытаний ядерного оружия в атмосфере в 1961-1963 гг. (Межибор, 2009).

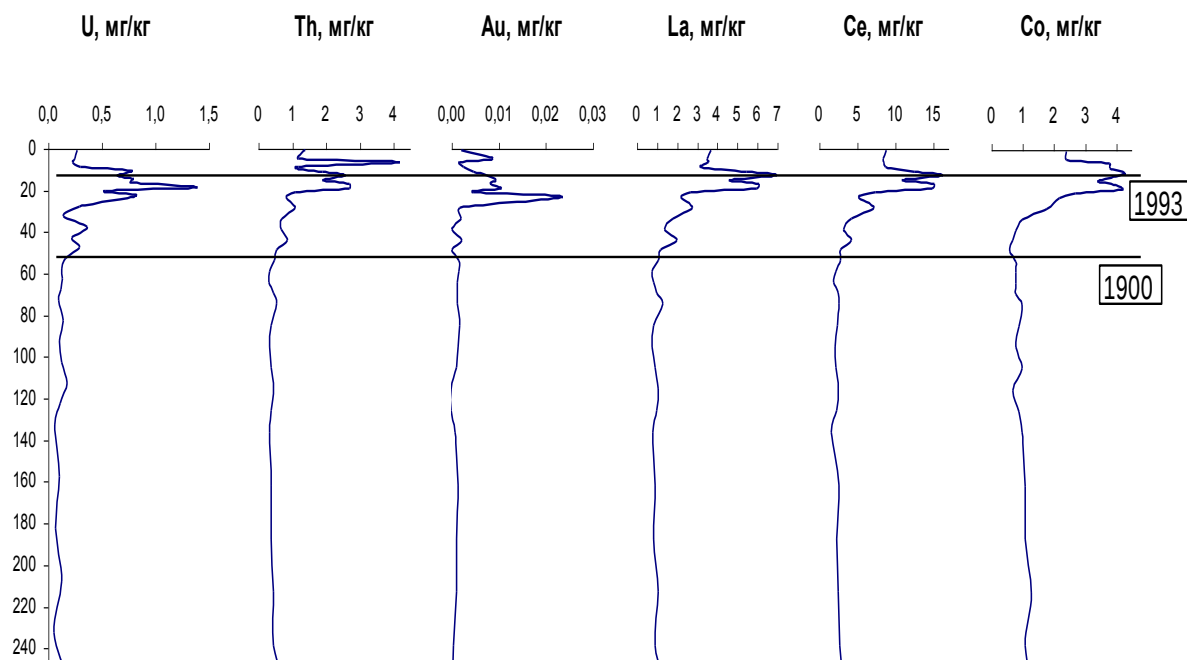


Рисунок 69 – Распределение U, Th, Au, La, Ce и Co в вертикальном профиле торфяника Петропавловский рям (Межибор, 2009)

Об антропогенной природе этих изменений свидетельствует и присутствие в донных отложениях ^{241}Am и ^{137}Cs (Рихванов и др, 2007), накапливающихся в вертикальной колонке донных отложений озера Черное в этот же период времени (рисунок 70). Идентичную картину можно наблюдать и в профиле почв Томского района, в зоне влияния СХК (Берчук и др, 2011) (рисунок 71). Источниками поступления ^{137}Cs могут являться испытания ядерного оружия в атмосфере и/или работа предприятий ядерно-топливного цикла (Сапожников, 2006).

Это позволяет предполагать, что возможной причиной техногенной трансформации природной среды является деятельность Сибирского химического комбината.

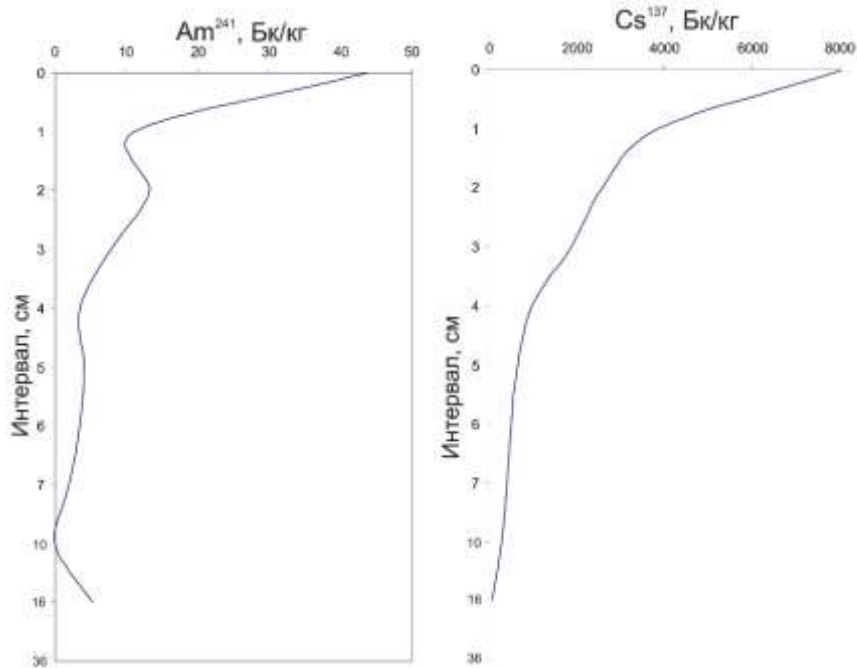


Рисунок 70 – Вертикальное распределение концентрации ^{241}Am и ^{137}Cs (бк/кг), в разрезе донных осадков Черного озера

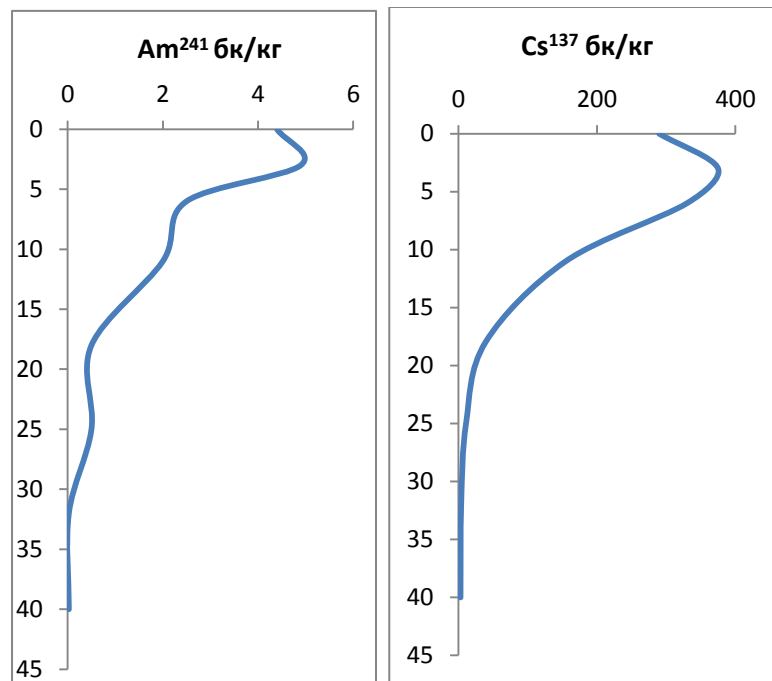


Рисунок 71 – Вертикальное распределение концентрации ^{241}Am и ^{137}Cs (бк/кг), почвенного разреза в зоне влияния СХК (Берчук и др, 2011)

В результате проделанной работы можно резюмировать: в вертикальном распределении элементов в колонке донных осадков малых водоемов юга Томского района отчетливо выделяется три типа: 1 – тип равномерного

распределения со слабо проявленными аномалиями (озеро Ларино); 2 – тип слабо дифференцированного распределения с проявлением неконтрастных аномалий в верхней части (озеро в селе Тимирязевское); 3 – тип резко дифференцированного распределения с контрастными аномалиями (озеро Черное).

Озеро Ларино расположенное на границе с Томским комплексным заказником республиканского значения, характеризуется минимальным техногенным воздействием, отличающимся от двух других изученных озер достаточно выдержанным содержанием химических элементов в колонке донных отложений. Что указывает на преимущественно терригенное поступление элементов в этот водоем. Причины пониженного их содержания в донных осадках могут быть связаны с особенностями питания озерной котловины.

Слабо дифференцированные аномалии, приходятся в основном на верхнюю часть вертикальной колонки донных осадков озера, находящегося в селе Тимирязевское. Аномалии могут быть связаны как с природной, так и с антропогенной составляющей, или с периодически неравномерным привносом загрязняющих веществ в данный водоем, например, результат половодья.

Черное озеро, находится в непосредственной близости к городу Северску и отличается достаточно резкой сменой геохимической обстановки, соответствующей периоду 50-х, 60-х годов прошлого столетия, что приходится на 10 сантиметровый интервал в вертикальной колонке донных осадков. Такую смену геохимической обстановки можно приурочить к началу строительства СХК и началу промышленной перестройки г. Томска. Аналогичный характер накопления отражается в колонке вертикальных распределений практически всех изученных нами химических элементов: мышьяк, барий, церий, кобальт, хром, цезий, европий, железо, гафний, лантан, лютеций, натрий, рубидий, сурьма, скандий, самарий, тантал, тербий, иттербий, ртуть, торий, уран и только кальций имеет другой характер распределения, что указывает на существенное изменение геохимической обстановки за последнее пятидесятилетие.

ГЛАВА 7. U И TH В ДОННЫХ ОСАДКАХ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ ЮГА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Оценка содержаний радионуклидов в донных осадках малых водоемов юга Томской области важна для получения данных об их радиационном фоне и возможных техногенных и природных аномалиях (Страховенко, 2010).

Среднее содержание урана в донных отложениях Томской области составляет $3,6 \pm 0,1$ г/т, тория – $7 \pm 0,1$ г/т, при Th/U отношении 1,9 г/т. При более детальном рассмотрении средних содержаний урана и тория в малых водоемах юга Томской области напрашивается вывод, что их распределение достаточно неравномерно (таблица 11).

Таблица 11 – Среднее содержание урана и тория в донных осадках малых водоемов Томской области, г/т

Регион (район, объект) исследования	Количество водоемов	U		Th		Th/U
		Содержание*	V, %	Содержание	V, %	
Томская область, в том числе районы:	299	<u>$3,6 \pm 0,1$</u> 0,5...35,2	95	<u>$7 \pm 0,1$</u> 0,4...13,7	33	1,9
Томский	46	<u>$3,6 \pm 0,1$</u> 0,6...6,6	24	<u>$6,5 \pm 0,1$</u> 0,4...8,9	11	1,8
Кожевниковский	50	<u>$4,1 \pm 0,1$</u> 0,9...35,2	112	<u>$7,5 \pm 0,1$</u> 2,2...11,5	29	1,8
Бакcharский	6	<u>$0,82 \pm 0,1$</u> 0,5...2,1	82	<u>$7,2 \pm 0,1$</u> 5,1...8,6	11	8,7
Шегарский	30	<u>$3,8 \pm 0,1$</u> 1,7...31	146	<u>$8,3 \pm 0,1$</u> 1,3...13,7	38	2,2
Зырянский	40	<u>$3,2 \pm 0,1$</u> 0,5...12	65	<u>$7,7 \pm 0,1$</u> 4,3...11,3	21	2,4
Асиновский	68	<u>$3,1 \pm 0,1$</u> 1,5...6,7	38	<u>$7,8 \pm 0,1$</u> 1,2...12,9	24	2,5
Кривошеинский	59	<u>$2,6 \pm 0,1$</u> 0,5...5,3	54	<u>$7,2 \pm 0,1$</u> 3,8...9,9	16	2,7

Примечание: V – вариация, %; в знаменателе – максимальные и минимальные значения; в числителе – среднее значение; $\pm$ – ошибка определения среднего; жирным выделены значения вышесреднего

Оценки средних содержаний U и Th в Асиновском, Зырянском и Кривошеинском районах близки.

Донные отложения малых водоемов Шегарского и Кожевниковского районов отличаются повышенными содержаниями урана. Его концентрации в некоторых водоемах превышают 20 г/т (озеро без названия на западной окраине села Баткат к северу от дороги на село Бабарыкино Шегарского района) при максимальных значениях в отдельно взятых пробах в разрезе до 60 г/т (водоем вблизи деревни Осиновка Кожевниковского района). Содержание тория при этом достаточно выдержано, что, скорее всего, указывает на его накопление преимущественно в составе обломочной фракции.

Как уже было сказано выше, содержание U и Th в донных отложениях малых водоемов напрямую зависит от их минерального состава, которые определяются составом пород водосбора (Страховенко, 2010), и, вероятно, разгрузкой подземных вод. Приведенные в таблице 12 данные показывают, что среднее содержание естественных радионуклидов в донных осадках малых водоемов юга Томской области отличаются в различных типах, при сохранении близкой величины Th/U отношения в терригенных и карбонатных (1,8 и 1,3) и немного отличающейся величиной в торфянистых (2,8).

Таблица 12 – Усредненные содержания урана и тория в различных минеральных типах донных отложений озер юга Томской области, г/т

Состав отложений	U	Th	Th/ U
Терригенные (421 проба)	$\frac{4,0 \pm 0,1}{0,5 \dots 35,2}$	$\frac{7,2 \pm 0,1}{2,8 \dots 13,7}$	1,8
Карбонатные (129 проб)	$\frac{2,8 \pm 0,1}{0,5 \dots 7}$	$\frac{3,6 \pm 0,1}{0,4 \dots 10,2}$	1,3
Торфянистые (68 проб)	$\frac{1,6 \pm 0,1}{0,4 \dots 5,5}$	$\frac{4,4 \pm 0,1}{1,4 \dots 9,5}$	2,8
Кларк*	3,4	7,7	2,2

Примечание: в знаменателе – минимальные и максимальные значения; в числителе – среднее значение; $\pm$ – ошибка определения среднего; * – кларк осадочных пород (Григорьев, 2003)

Терригенные осадки обогащены U и Th относительно двух других типов и очень близки к среднему содержанию в осадочных породах по Григорьеву (2003), а торфянистый тип осадков заметно отличается пониженным содержанием урана, но обладает более высоким Th/U отношением.

Для сопоставления средних содержаний U и Th в донных осадках малых водоемов юга Томской области сравним их с данными некоторых континентальных озер Сибири и с осадочными породами по Григорьеву (2003) (таблица 13).

По средним содержаниям радиоактивных элементов в донных осадках малых водоемов юга Томской области близки к донным отложениям Алтайского края, Байкальского региона и Республики Алтай, немного отличаясь повышенным средним содержанием урана, и существенно отличаются от донных отложений озер Ямало-Ненецкого автономного округа, Республики Саха и Республики Тыва.

Таблица 13 – Среднее содержание урана и тория в донных осадках озер Томской области и сопредельных регионов, г/т

Регион (район, объект) исследования	Кол-во проб	Уран	Торий	Th/U	Источник информации
Томская область	618	$\frac{3,6 \pm 0,1}{0,5-35,2}$	$\frac{7,0 \pm 0,1}{0,4-13,7}$	1,9	Наши данные
Агинский Бурятский А.О.	110	$\frac{5,5 \pm 0,6}{0,3-19}$	$\frac{7,7 \pm 0,4}{0-17,3}$	1,4	(Страховенко, 2010)
Республика Бурятия	123	$\frac{4,3 \pm 0,4}{1,5-13,5}$	$\frac{4,3 \pm 0,2}{1,9-8,8}$	1	
Иркутская область	108	$\frac{2,6 \pm 0,1}{0,2-8,2}$	$\frac{3,5 \pm 0,2}{0,05-8,4}$	1,3	
Республика Тыва	197	$\frac{1,2 \pm 0,05}{0-3,5}$	$\frac{1,9 \pm 0,1}{0-7}$	1,6	
ЯНАО	256	$\frac{1,4 \pm 0,07}{0,7-2,3}$	$\frac{3,2 \pm 0,1}{1,8-4,8}$	2,3	
Республика Саха	86	$\frac{1,7 \pm 0,1}{0-9,3}$	$\frac{4,6 \pm 0,2}{1,5-8,6}$	2,7	
Новосибирская область	239	$\frac{2,0 \pm 0,06}{0-5,8}$	$\frac{5,6 \pm 0,2}{0-13}$	2,8	

продолжение таблицы 13

Алтайский край	1209	$\frac{2,5 \pm 0,08}{0-15,5}$	$\frac{7,4 \pm 0,2}{0-18,9}$	3	(Страховенко, 2010)
Республика Алтай	207	$\frac{2,6 \pm 0,1}{0,2-12,8}$	$\frac{6,3 \pm 0,2}{0-14,7}$	2,4	
Кларк*	—	3,4	7,7	2,2	(Григорьев, 2003)

Примечание: в знаменателе – минимальные и максимальные значения; в числителе – среднее значение; $\pm$ – ошибка определения среднего; * – среднее содержание в осадочных породах.

Анализ пространственного накопления урана в донных отложениях юга Томской области позволяет выделить две зоны с повышенным уровнем его накопления (рисунок 72). Первая зона представляет собой цепочку ореолов субмеридионального простирания, прослеживающихся от южной границы Томской области вдоль долины реки Оби в пределах Шегарского и Кожевниковского районов. Вторая зона представляет собой ореол повышенных содержаний урана вдоль границы выхода коренных отложений в обрамлении Западно-Сибирской плиты (Зырянский район) в пределах Кузнецко-Алатаусского блока. Эта закономерность распределения соответствует ранее выявленной геохимиками, геологами, гидрогеологами и биологами зоне с геолого-геохимической неоднородностью, зафиксированной на смене гидрогеохимических типов вод, на стыке морских и прибрежно-морских (в западной части Томской области) отложений мезозойского чехла Западно-Сибирской низменности (Шор, 1995; Назаров, 2004; Домаренко и др., 2008; Воробьев и др., 2008; Соболев, 2010; Барановская, 2011) (рисунок 72).

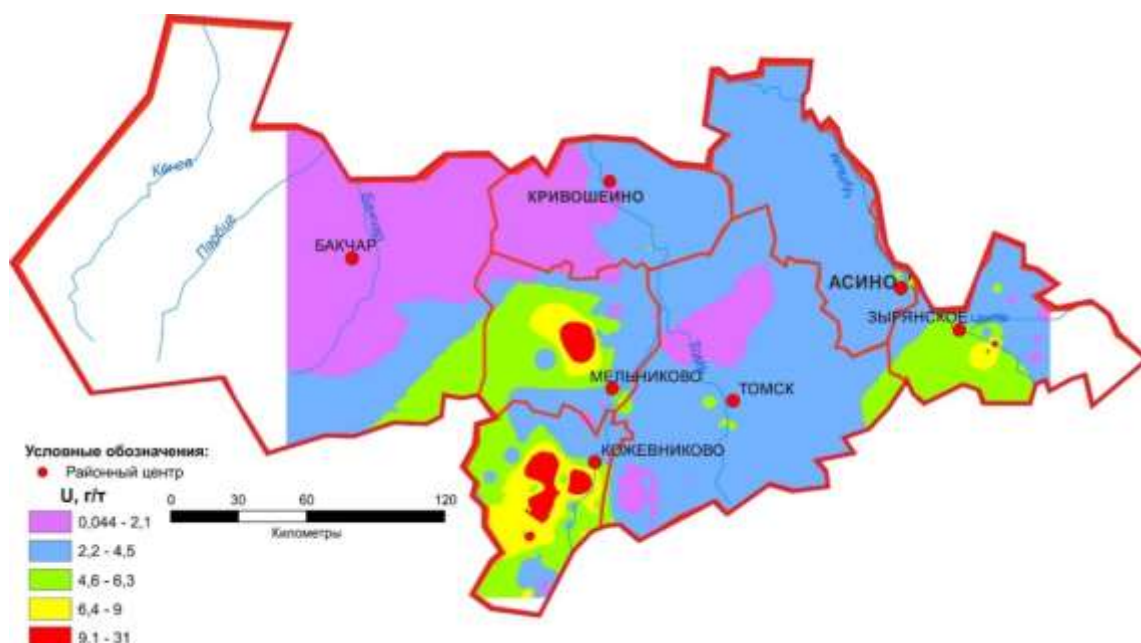


Рисунок 72 – Схематическая карта распределения U (г/т) в донных осадках малых водоемов юга Томской области

Наличие ураноносных бурых углей Козульского, Усманского и Яйского месторождения является критерием поступления повышенных концентраций урана (Арбузов и др., 2013) и в донные отложения Зырянского района.

Так, уран в изученных водных объектах Зырянского района находится на уровне $n \cdot 10^{-6}$ - 10^{-8} г/л, при том, как среднее фоновое содержание для пресных вод Западно-Сибирского региона на уровне $n \cdot 10^{-7}$ - 10^{-8} г/л (30 - 900 нг/л). Особенно выделяется село Семеновка Зырянского района, где в некоторых пунктах содержание U в воде составляет 1,9 мкг/л (1900 нг/л) и достигает максимальных концентраций 2,8 и 2,5 мкг/л (2800-2500 нг/л). А максимальное содержание урана в накипи из чайников с. Семеновка равно 5,7 мг/кг, при среднем содержании накипи других изученных районов на уровне 1,9 мг/кг (Рихванов, 1997).

Пространственное распределение Th схоже с распределением большинства редких земель (рисунок 73). Контрастных аномалий не выделяется, но так же, как и у урана можно выделить две зоны с высоким его содержанием. Первая зона прослеживается от южной границы Томской области вдоль долины реки Оби в пределах Шегарского и Кожевниковского районов, вторая зона простирается вдоль долины реки Чулым в пределах Зырянского и Асиновского районов.

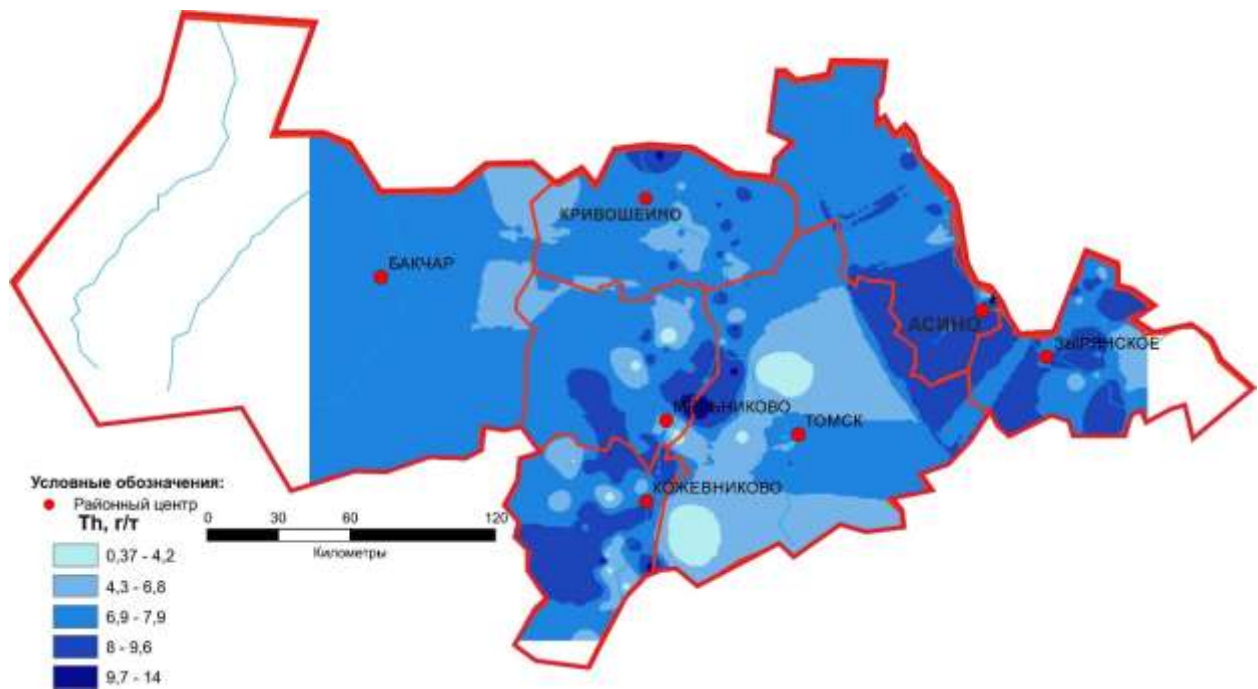


Рисунок 73 – Схематическая карта распределения Th в донных осадках малых водоемов юга Томской области, г/т

В распределении Th/U отношения повышенными значениями характеризуется Бакчарский и Кривошеинский районы, наименьшими – Кожевниковский, Томский и Зырянский районы (рисунок 74).

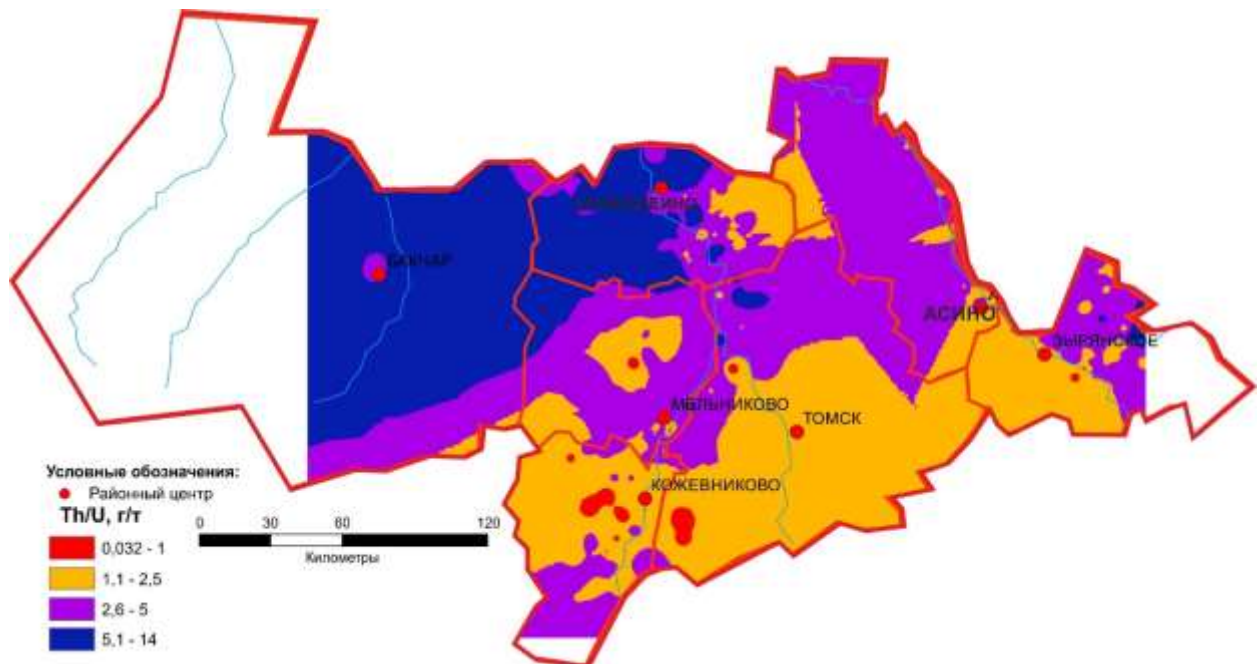
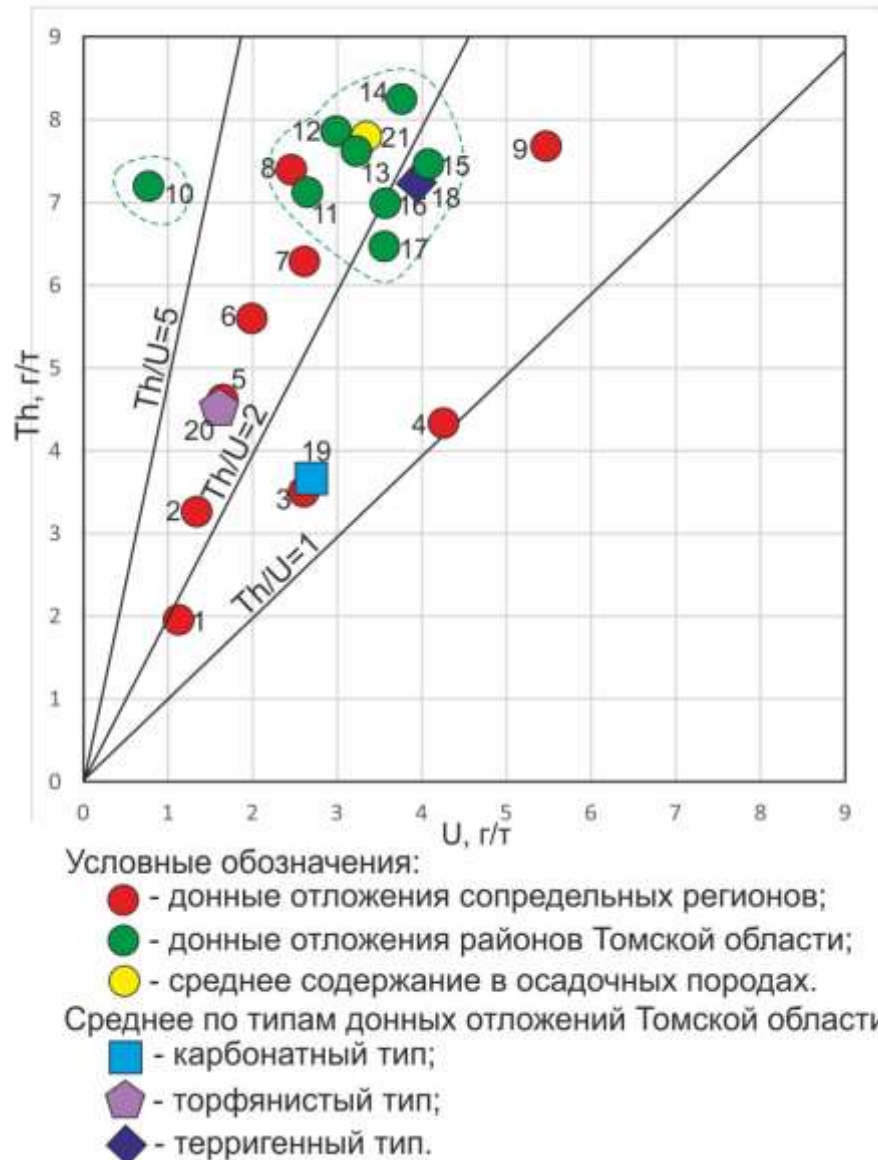


Рисунок 74 – Схематическая карта пространственной изменчивости величины Th/U отношения в донных осадках малых водоемов юга Томской области, г/т



1) Республика Тыва; 2) Ямало-Ненецкий автономный округ; 3) Иркутская область; 4) Республика Бурятия; 5) Республика Саха; 6) Новосибирская область; 7) Республика Алтай; 8) Алтайский край; 9) Агинский Бурятский автономный округ; районы Томской области: 10) Бакчарский; 11) Кривошеинский; 12) Асиновский; 13) Зырянский; 14) Шегарский; 15) Кожевниковский; 16) среднее для Томской области; 17) Томский. Примечания: 1–6 (Страховенко, 2010); 7–17 (данные автора), типы донных отложений: 18) терригенный; 19) карбонатный; 20) торфянистый; 21) среднее содержание в осадочных породах по Григорьеву Н.А.

Рисунок 75 – Радиогеохимические характеристики донных осадков малых водоемов юга Томской области и сопредельных регионов

На рисунке 75 отображен график, отражающий положение донных отложений в координатах Th–U, из которого напрашивается вывод, что, в общем, преобладают донные осадки со смешанной природой радиоактивности.

Одним из важнейших показателей состояния почв, а на наш взгляд и донных отложений, является величина отношения тория к урану (Рихванов, 1997).

Донные осадки малых водоемов юга Томской области отличаются достаточно выдержанным Th/U отношением в сравнении с различными регионами Сибири и очень схожи со средними содержаниями в осадочных породах (Григорьев, 2003), что соответствует нормальному отношению Th к U в большинстве типов геологических образований земной коры. Исключение составляет Бакчарский район, отличающийся высоким отношением $Th/U > 5$, что характерно для районов с проявлением ториеносных геологических образований (Рихванов, 1997).

7.1. Радиогеохимические особенности Осиновско – Бабарыкинской аномальной зоны

На фоне относительно однородного распределения U в донных осадках малых водоемов юга Томской области выделяется Осиновско – Бабарыкинская радиогеохимическая аномальная зона, характеризующаяся повышенным содержанием урана и пониженным торий урановым отношением.

Урановая аномалия была уже ранее отмечена в водах и почвах Кожевниковского района (с. Чилино, с. Базой и др.) (Рихванов, 1997).

Схожим распределением урана характеризуются почвы Кожевниковского района, изучением радиогеохимических особенностей, которых занимался Я.Н. Кравченко под руководством Л.П. Рихванова (рисунок 76).

Исследования включали в себя лабораторное изучение отобранных проб почв методом ИНАА, а также полевую гамма-спектрометрическую съемку. Полевая гамма-спектрометрия подтверждает данные ИНАА: наблюдается сходимость распределения содержаний урана в почвах Кожевниковского района.

Повышенная концентрация урана установлена и в пылевых аэрозолях Кожевниковского района, где среднее содержание данного элемента превышает фон в 22 раза и в 2 раза выше среднего значения для Томской области. (Таловская и др. 2013). Высокие концентрации урана установлены и в водных растениях семейства рясковые (Lemnoideae) на территории деревни Осиновка. Среднее содержание урана составляет 5,1 г/т сухого вещества, что практически в 10 раз больше полученных средних значений других изученных районов (Максимова, 2014).

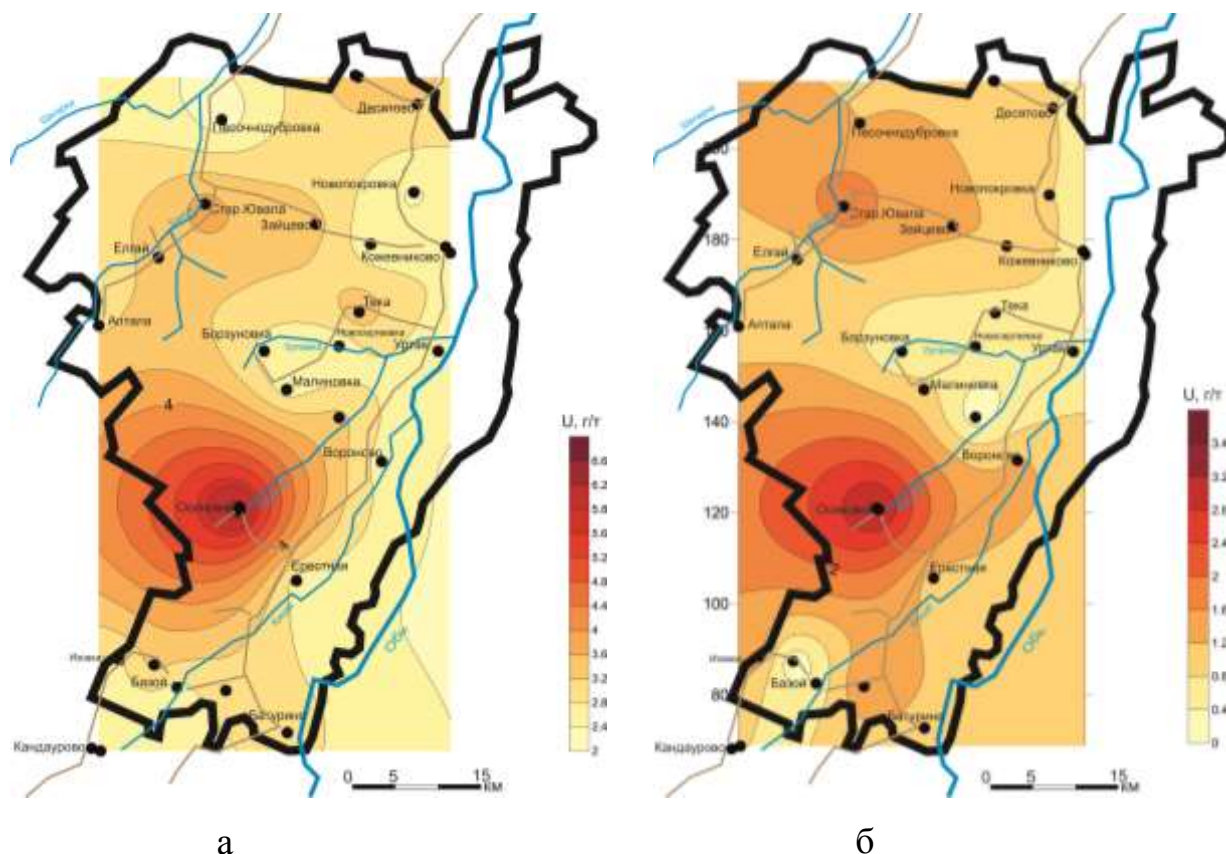


Рисунок 76 – Схематическая карта распределения урана (г/т) в почвах на территории Кожевниковского района: а) по данным полевой гамма-спектрометрии; б) по данным ИНАА (Кравченко, 2014)

Торий так же, как и уран, в донных отложениях хорошо коррелирует по своему пространственному распределению с почвами Кожевниковского района (Рихванов, 1997). Результатами полевой гамма-спектрометрии максимальные концентрации тория установлены в центральной части Кожевниковского района - с. Осинówka (Кравченко, 2014) (рисунок 77). Так же, как и в донных отложениях, почвенный ореол совпадает с минимальным значением отношения Th/U и максимальной концентрацией урана. Минимальное торий-урановое отношение $\text{Th}/\text{U} \leq 1$ установлено в пылевых аэрозолях и в ряске в населенных пунктах Кожевниковского района (Таловская и др. 2013; Максимова, 2014).

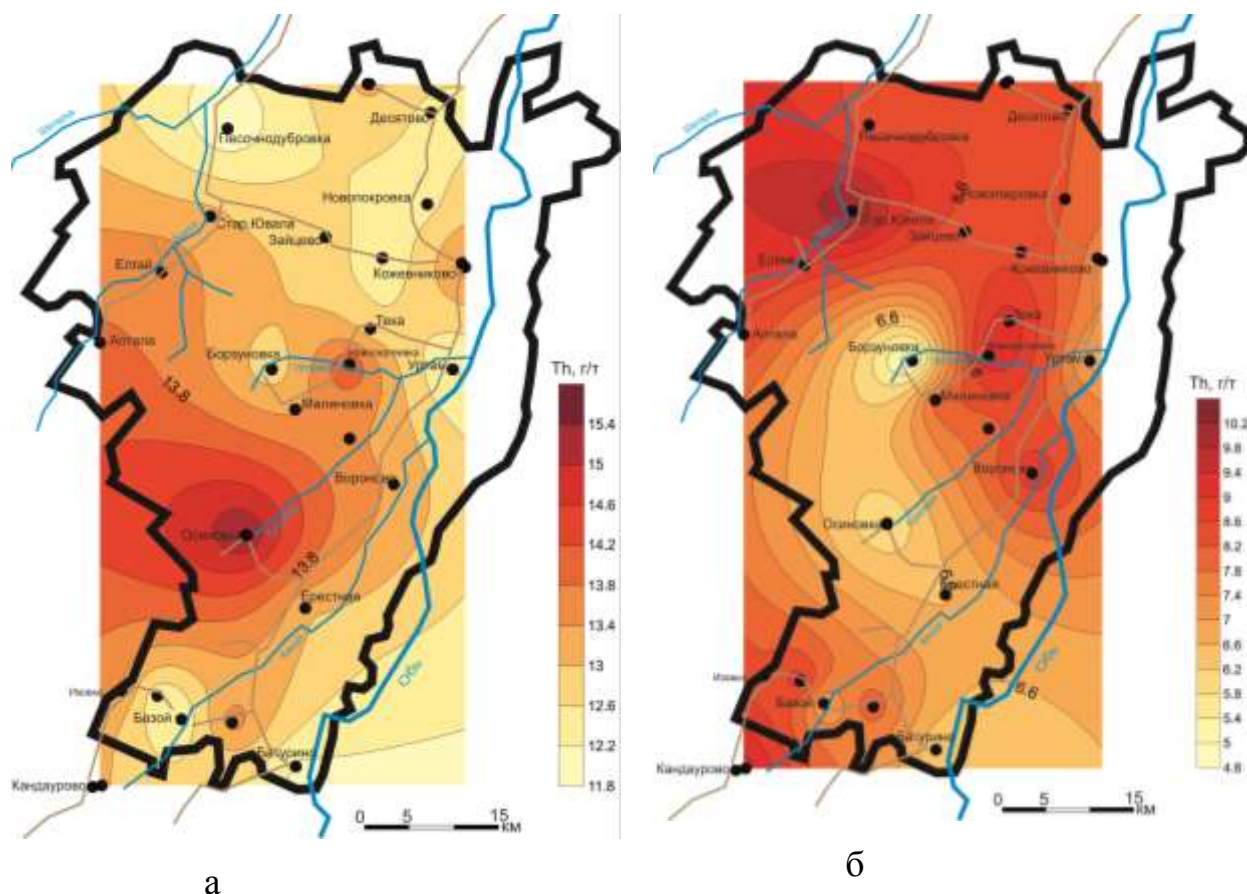


Рисунок 77 – Схематическая карта распределения тория (г/т) в почвах на территории Кожевниковского района а) по данным полевой гамма-спектрометрии; б) по данным ИНАА (Кравченко, 2014)

Более подробно рассмотрим график, отражающий положение донных осадков в координатах Th–U для всех малых водоемов юга Томской области (рисунок 78).

Th/U-отношение в донных отложениях юга Томской области в основном около и чуть выше 2. Наиболее вероятным механизмом накопления урана является сорбция на органическом веществе. Донные отложения Осиновско – Бабрыкинской аномальной зоны отличаются достаточно низким торий-урановым отношением, $Th/U \leq 1$, что указывает на преимущественное концентрирование U по сравнению с Th (рисунок 78).

Природа повышенного содержания U в Осиновско – Бабрыкинской аномальной зоне может быть обусловлена:

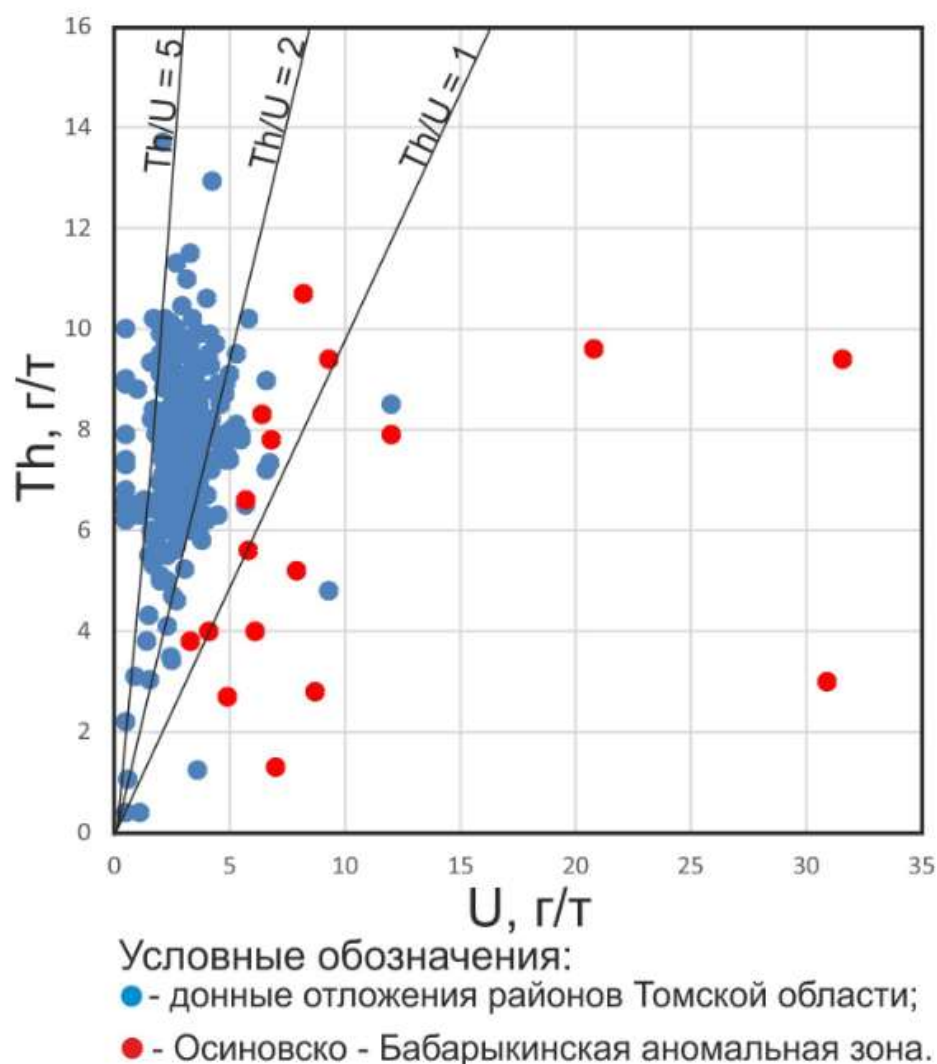


Рисунок 78 – Радиогеохимическая характеристика донных отложений районов Томской области

- сносом и концентрированием урана в осадочных отложениях вдоль южного обрамления Западно-Сибирской плиты. Вероятность такого механизма накопления аномально высоких содержаний U в донных осадках подтверждается наличием здесь многочисленных проявлений урана в торфяниках (Росляков, 2004, 2008);

- разгрузкой подземных вод Колыванского разлома, где установлены аномальные концентрации урана в инской и буготакской серий в Колывань-Томской складчатой зоне (до $5,4 \times 10^{-5}$ г/л) и формированием в подземных водах высоких концентраций урана в зонах дробления тектонических нарушений (Росляков, 2013) (рисунок 79);

- в Шегарском районе аномалии пространственно приурочены к гранитоидам позднепалеозойского фундамента (рисунок 80).

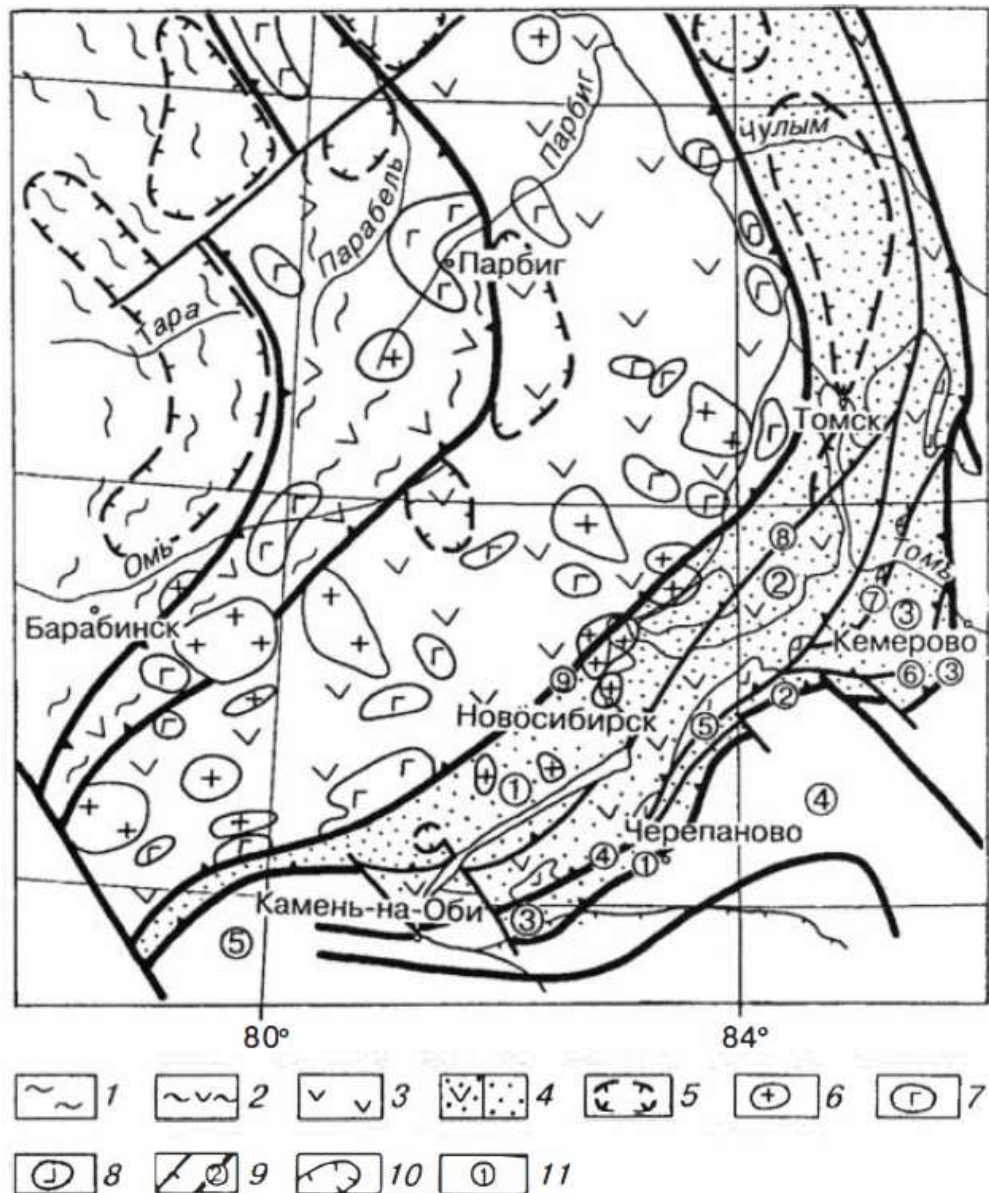
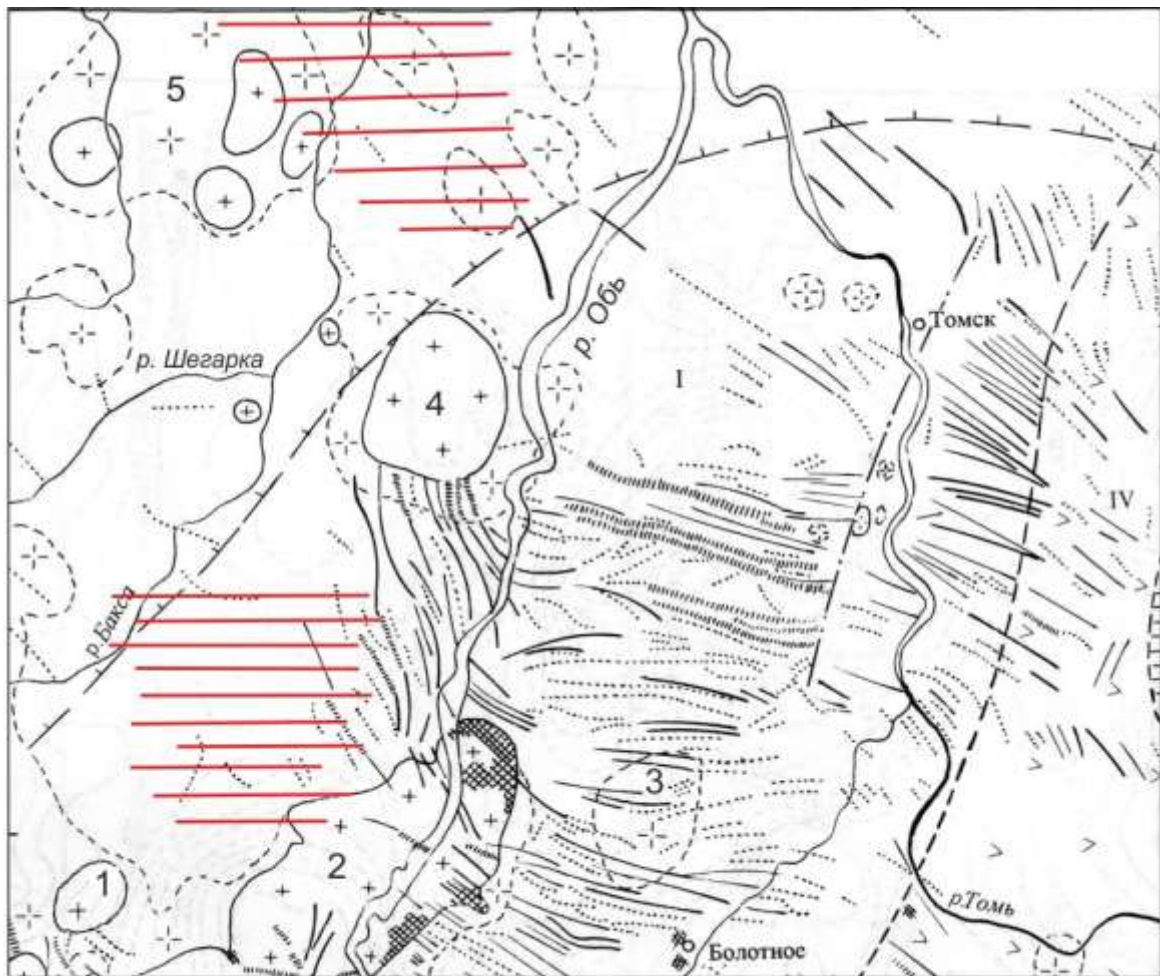


Рисунок 79 – Тектоническая схема Центрально-Западносибирской складчатой области (Кунгурцев и др., 1998)

Условные обозначения: 1 – 4 – геодинамические комплексы: 1 – прижелобового склона островной дуги, 2 – внешней аккреционной дуги, 3 – внутренней магматической дуги, 4 – задугового бассейна в т.ч. поднятий (а) и глубоководных прогибов (б); 5 – впадины выполненные мощными осадочными комплексами; 6 – массивы гранитоидов; 7 – базитовые вулканоплутонические комплексы; 8 – вулканы поднятий окраинного бассейна; 9 – разломы с предполагаемым направлением падения: 1 – Чемской, 2 – Доронинский, 3 – Кемеровский, 4 – Каменский, 5 – Подъяковский, 6 – Томский, 7 – Митрофановский, 8 – Ярко-Орешский, 9 – Колыванский разломы; 10 – контуры мезозойско-кайнозойского чехла Западно-Сибирской плиты; 11 – номера структур: 1 – Новосибирский прогиб, 2 – Митрофановско-Буготакское поднятие, 3 – Горловско-Зарубинский прогиб, 4 – Салаирская палеодуга, 5 – Алтае-Монгольский микроконтинент



Масштаб 1:1000000

Условные обозначения:



Буготакско-Митрофановское поднятие (IV - Митрофановский антиклинорий). Вулканогенные и песчано-сланцевые отложения D2-D3.



Крупные дайкообразные тела (а) и дайки долеритов, уверенно координируемые с линейными магнитными аномалиями (б) и малоамплитудные прерывистые (в).



Гранитоидные массивы, выходящие на поверхность или близповерхностные (а) и глубокозалегающие (б), заштрихованные краевые интенсивно намагниченные зоны, соответствующие габроидам и диоритам. 1 - Барлакский, 2 - Обской, 3 - Варламовский, 4 - Кожевниковский, 5 - Маркеловский.



Осиновско - Бабарыкинская радиогеохимическая аномальная зона накопления урана.

Рисунок 80 – Фрагмент интерпретационной геолого-геофизической карты Колывань-Томской складчатой зоны (Хомичев и др., 2003) с дополнениями автора

Как было уже отмечено выше, усредненные максимальные значения урана, по результатам ИНАА, установлены в водоеме вблизи деревни Осиновка

Кожевниковского района - 35,2 г/т, содержания тория равны 8,5 г/т. Если ориентировочно, при условии радиоактивного равновесия, можно считать, что: 1 г/т U = 12,6 Бк/кг и 1 г/т Th = 4,07 Бк/кг (Рихванов, 1997), то по результатам лабораторного гамма - спектрометрического анализа $Ra^{226} = 13$, $Th^{232} = 31$ соответственно в пересчете U = 1,03 г/т, а Th = 7,6 г/т. Связанно это может быть с еще не установившимся радиоактивным равновесием, что указывает на молодой возраст урана. Сорбция урана происходила из воды.

Для более детального изучения Осиновско – Бабарыкинской аномальной зоны были сделаны поинтервальные разрезы в колонке вертикальных профилей донных осадков. Анализ характера вертикального распределения химических элементов Осиновско – Бабарыкинской аномальной зоны позволил выделить преимущественно тип нормального распределения практически для всех изученных элементов. Вертикальное распределение урана и тория в озере деревни Осиновка представлены на рисунке 81.

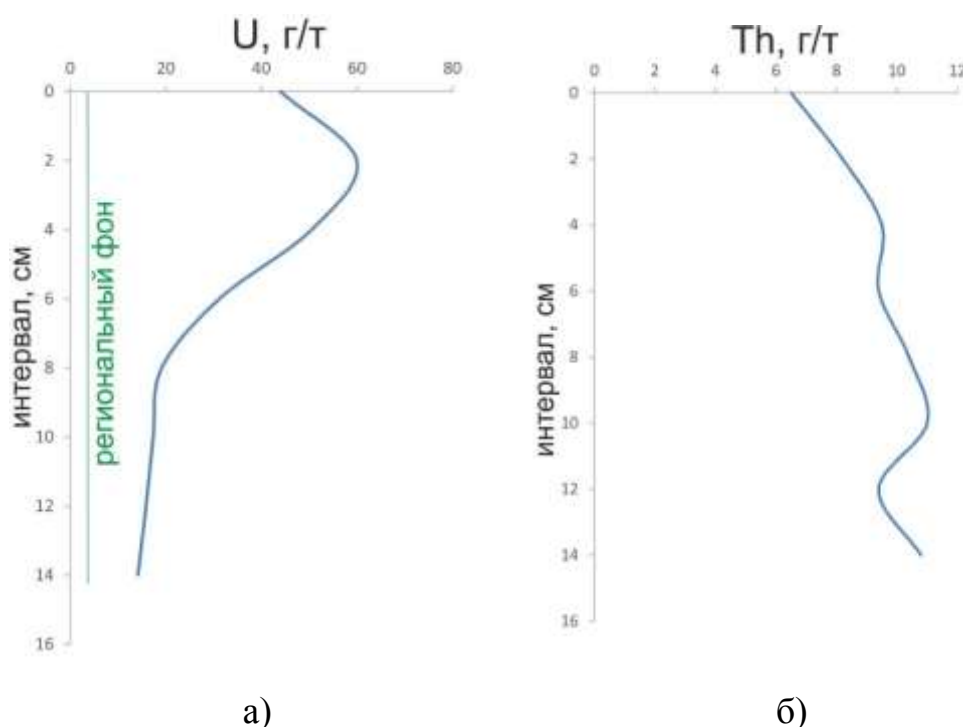
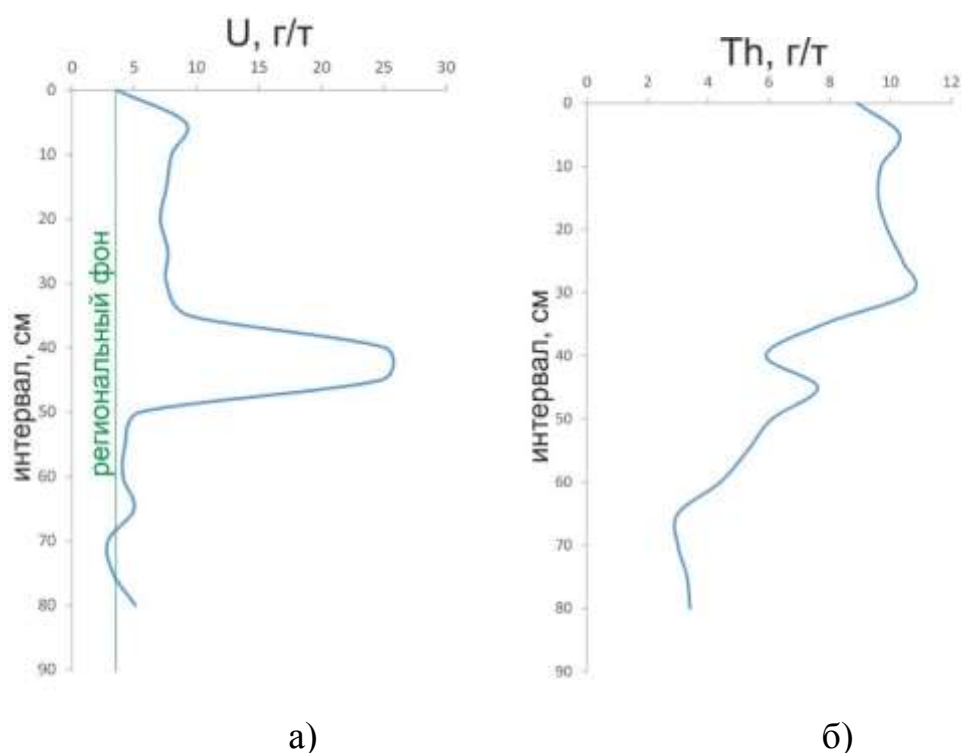


Рисунок 81 – Вертикальное распределение а)U и б)Th в колонке донных отложений озера в деревне Осиновка

Анализируя графики вертикального распределения элементов в озере находящимся в деревне Осиновка, можно сделать выводы, что практически все

элементы по своим средним значениям близки или равны региональному фону по донным отложениям. Исключение составляет U который при своих средних значениях превышает среднее для области практически в 10 раз. А как уже было сказано выше максимальные значения в колонке донных отложений достигает 60 г/т.

Осиновская аномалия проявляется и в деревне Малиновка Кожевниковского района. Озеро располагается на р. Кумлова, на которой находится и озеро в деревне Осиновке. Вертикальное распределение U представлено на рисунке 82.



а) б)
Рисунок 82 – Вертикальное распределение а)U и б)Th в колонке донных отложений озера в деревне Малиновка

Таким образом, в результате изучения радиогеохимических особенностей донных осадков малых водоемов юга Томской области, можно сделать следующие выводы.

Из всех изученных районов Томской области, выделяются Кожевниковский и Шегарский районы с повышенным содержанием урана.

Пространственное распределение урана в донных отложениях позволило выделить две зоны с повышенным уровнем его накопления.

Содержание естественных радионуклидов в донных осадках малых водоемов юга Томской области значительно отличаются в различных минеральных типах осадков.

Выделена Осиновско – Бабарыкинская аномальная зона накопления урана, которая пространственно совпадает с полями развития гранитов позднепалеозойского комплекса. Вероятно, в этой зоне происходит разгрузка подземных вод Колыванского разлома, где установлены аномальные концентрации урана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Малые водоемы и озера широко распространены на территории юга Томской области, а образующиеся в них донные отложения, выполняющие роль депонирующей среды, являются эффективным маркером для изучения природных и антропогенных факторов.

Проведенные минералого-геохимические исследования позволили разделить донные отложения малых водоемов юга Томской области на три типа: терригенный, карбонатный и торфянистый.

Изучение закономерностей распределения элементов в донных осадках малых водоемов юга Томской области позволяет установить, что донные осадки водоемов юга Томской области, по сравнению с континентальными озерами Сибири, характеризуются повышенными содержаниями элементами группы железа (Cr, Fe, Co), а также сурьмы, бария, РЗЭ, гафния, ртути, золота и урана.

Изучение латеральной изменчивости этих элементов в донных осадках малых водоемов юга Томской области позволило выделить две зоны повышенного их содержания. Первая зона протягивается от южной границы области в субмеридиональном направлении вдоль долины реки Оби в пределах Кожевниковского, Шегарского и Кривошеинского районов. Вторая зона имеет субширотную ориентировку и приурочена к южной границе Кузнецко-Алатауской области сноса.

При изучении закономерностей вертикального распределения элементов в донных отложениях юга Томского района было выделено три типа, которые определяются расположением водоемов относительно техногенного источника загрязнения.

1 – тип нормального распределения, без явно выраженных локальных аномалий. Изменчивость содержания химических элементов здесь обусловлена постепенным (эволюционным) изменением состава донных отложений и преимущественно природными факторами.

2 – тип слабо дифференцированного распределения с проявлением слабовыраженных аномалий в различных частях донных отложений. Может быть обусловлен как природными, так и антропогенными факторами.

3 – тип резко дифференцированного распределения с контрастными аномалиями в верхней части разреза, сформировавшимися под воздействием интенсивного изменения окружающей среды, главным образом под влиянием техногенной нагрузки.

Резко дифференцированный тип распределения элементов характерен для водоемов находящихся в зоне влияния СХК. Так Черное озеро, которое находится в непосредственной близости к городу Северску, отличается резкой сменой геохимической обстановки, которая соответствует периоду с 1950 г по 1960 г., и соответствует интервал от 7 до 10 см в вертикальной колонке донных отложений.

Были проведены радиогеохимические исследования донных отложений малых водоемов юга Томской. Проведенные исследования показали, что содержание урана и тория зависит от типа донных отложений. Наиболее высокие содержания урана установлены в терригенном типе донных отложений, наиболее низкие - в торфянистом.

Из всех изученных районов повышенное содержание урана установлено в Кожевниковском и Шегарском районе Томской области. Здесь отчетливо выделяется Осиновско – Бабарыкинская аномальная зона накопления урана, которая хорошо прослеживается в субмеридиональном направлении и может быть связана с разгрузкой подземных вод Колыванского разлома в Кожевниковском районе, а в Шегарском районе аномалии могут быть пространственно приурочены к гранитоидам позднепалеозойского фундамента.

Изучение донных осадков малых водоемов является одним из перспективных направлений современной геохимии экосистем. Изучение донных осадков позволяет изучать не только динамику изменения состава окружающей среды за определенный период времени, но и являются эффективным планшетом для изучения как природных, так и антропогенных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адам, А.М. Управление природопользованием на уровне субъекта федерации /А. М. Адам. – М.: ТИССО, 2002. – 148 с.
2. Алексеенко, В.А. Экологическая геохимия: учебник / В. А. Алексеенко. – М.: Логос, 2000. – 627 с.
3. Атлас Томской области. Минерально-сырьевые ресурсы / Под. ред. В.А. Льготина. – Т.: Томскгеомониторинг. – 2006. – 33 с.
4. Арбузов, С.И. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна / С.И. Арбузов, В.В. Ершов, А.А. Поцелуев, Л.П. Рихванов. – Кемерово, 2000. – 248 с.
5. Арбузов, С.И. Геохимия редких элементов в углях центральной Сибири: автореферат диссер. ... доктора геол.-мин. наук / С. И. Арбузов. – Томск, 2005. – 48 с.
6. Арбузов, С.И. Радиоактивные элементы (U, Th) в углях / С.И. Арбузов, А.В. Волостнов, В.С. Машенькин, и др. // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. – 2013. – С. 56-62.
7. Ахмадшин, и др. // Государственная геологическая карта Российской федерации масштаба 1: 200000. Издание второе. Серия кузбасская. Лист О-45-XXXII (тайга). Томск, 2007.
8. Барановская, Н.В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем: тавтореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Томск, 2011. – 46 с.
9. Бабин, А.А., Бабина Е.А. Некоторые особенности строения и состава Бакчарской рудоносной толщи / А.А. Бабин, Е.А. Бабина // Известия ТПИ. – Т.218. – 1970. – С. 9-14.
- 10.Бернатонис, В. К. Микрофлора сапропелевых озер Томской области / В.К. Бернатонис, Н.А.Трифопова, И.Г. Кудашев и др. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2002. – Т. 305. – №. 6.
11. Берчук, В.Ю. Уровни накопления и характер распределения лантаноидов и трансурановых элементов в вертикальном разрезе пойменных почв протоки

- Чернильщикова р. Томи / В. Ю. Берчук, Л. П. Рихванов, Г. Л. Француа // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – №. 1.
12. Бобров, В.А., Гофман А.М. Лабораторный гамма-спектрометрический анализ естественных радиоактивных элементов (методические разработки). – Новосибирск: Изд-во ИГиГ СО АН СССР, 1971. – 67 с.
 13. Боровиков, В.П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
 14. Воробьев, Е.А. Возможность выявления уранового полиэлементного оруденения в Западно-Сибирском нефтегазоносном бассейне / Е.А. Воробьев, А.А. Новгородцев, В.А. Домаренко // Тезисы Второго международного симпозиума «Уран: ресурсы и производство». М.: ВИМС. – 2008. – С. 30.
 15. Восель, Ю.С. Распределение радионуклидов, макро- и микроэлементов в системе почва водосборных площадей - вода - донный осадок озера Сказка / Ю.С. Восель, В.Д. Страховенко // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: докл. V Междунар. науч.-практ. конф. (15-18 окт. 2008 г.). – Семей, 2008. – Т. 2. – С. 202-209.
 16. Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири. Новосибирская, Омская, Томская области. Т. 1: Геологическое строение / Под ред. Н.А. Рослякова, В.Г. Свиридова. – Новосибирск: Б.и., 1998. – 228 с.
 17. Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири. Новосибирская, Омская, Томская области. Т. 2: Полезные ископаемые / Под ред. Н.А. Рослякова, В.Г. Свиридова. – Новосибирск: Б.и., 1999. – 254 с.
 18. Геохимия озерно-болотного литогенеза / Под. ред. акад. К. И. Лукашева. – Минск: Наука и техника, 1971. – 284 с.
 19. ГОСТ 17.1.5.01-80 Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность (с Изменением N 1). – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 7 с.
 20. Гринев, О.М. Об уровне геологической изученности и регионально-минерагенических предпосылках наращивания минерально-сырьевой базы

- Томской области // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири: матер. межрег. научно-практич. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – С. 33-44.
21. Даувальтер, В.А. Химический состав донных отложений субарктического озера под влиянием горной металлургии // Известия ан, серия географическая. – 2002. – №4 – С.65-73.
 22. Даувальтер, В.А. Влияние воздушных выбросов воркутинского промышленного района на химический состав озерных донных отложений // Водные ресурсы. – 2004. – Т. 31. – №6. – С. 721–725.
 23. Домаренко, В.А. К вопросу о перспективах открытия гидрогенных месторождений урана на юго-востоке Западно-Сибирской плиты. / В.А. Домаренко, И.С. Соболев, Е.М. Чернев // Уран: ресурсы и производство. Тезисы Второго международного симпозиума, Москва, ФГУП ВИМС, 26-28 ноября 2008. М.: ВИМС, 2008. – С. 39
 24. Евсеева, Н.С. География Томской области. Природные условия и ресурсы. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2001. – 223 с.
 25. Ершов, В.В. Уран и торий в рудах Бакчарского железорудного месторождения / В. В. Ершов, Л.П. Рихванов, А.Я Пшеничкин, С.И. Арбузов // Известия Томского политехнического университета. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 97-104.
 26. Замирайлова, А.Г. Литология баженовской и георгиевской свит центральной и северной частей Западно-Сибирской плиты: автореф. дис ... к.г.-м.н. наук 25.00.06. Новосибирск. – 2004. – 22 с.
 27. Западная Сибирь // Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т. 2 / Гл. ред. В. П. Орлов. Ред. 2-го тома: А. Э. Конторович, В.С. Сурков. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. – 477 с.
 28. Жорняк, Л.В. Редкие, редкоземельные и радиоактивные элементы в почвенном покрове урбанизированных территорий (на примере г. Томска) / Л.В. Жорняк, Е.Г. Язиков // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2008. – № 4. – С.82-84.

29. Иванов, А.Ю. Уран и торий в донных отложениях непроточных водоемов юга Томской области // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318. – № 1. – С. 159–165.
30. Иванов, А.Ю. Закономерности распределения ртути в вертикальном профиле донных отложений слабопроточных водоемов Томского района / А.Ю. Иванов, К.А. Губина, Е.В. Перегудина // Евразийское Научное Объединение. – 2015. – Т. 2. – №. 3. – С. 184-185.
31. Иванов, А.Ю. Закономерности распределения химических элементов в вертикальном профиле донных отложений слабопроточных водоемов Томского района //Известия Томского политехнического университета. – 2016. – Т. 327. – №. 2.
32. Иванов, В.В. Экологическая геохимия элементов: справочник. В 6 кн. Кн. 6: Редкие f-элементы / под ред. В. К. Буренкова. – М.: Экология, 1997. – 607 с.
33. Иванова, Г.М. О Басандайском сурьмяно-ртутном рудопроявлении в Томской области //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 1976. – Т. 236. – С. 179-184.
34. Иванова, Г.М. Анализ перспективности рудопроявлений золота, цветных и редких металлов в Томской области / Г.М. Иванова // Региональная геология. Геология месторождений полезных ископаемых: материалы международной научно-технической конференции «Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства» / Ответственный редактор А. Ф. Коробейников. – Томск, 2001. – С. 52-58.
35. Кордэ, Н.В. О биостратификации и типологии русских сапропелей. Москва: Издательство Академии наук СССР, 1960. – 219 с.
36. Кравченко, Я.Н. Сравнение геохимических показателей почв Кожевниковского района Томской области и территории США / Я.Н. Кравченко // Проблемы геологии и освоения недр: тр. XVIII Междунар. симп. им. акад. М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвящ. 115-летию со дня рождения акад. Акад. наук СССР, проф. К.И. Сатпаева, 120-летию со

- дня рождения чл.-кор. Акад. наук СССР, проф. Ф.Н. Шахова. – Томск, 2014. – Т. 1. – С. 729-731.
37. Кунгурцев, Л.В. Геодинамические комплексы и этапы развития Колывань-Томской складчатой зоны (Западная Сибирь) / Л.В. Кунгурцев, Г.С. Федосеев, В.А. Широких и др. // Геология и геофизика. 1998. – Т.39 – № 1. – С. 26-37.
 38. Лепокурова, О.Е. Геохимия подземных вод района Бакcharского железорудного месторождения (Томская область) / О.Е. Лепокурова, И.С. Иванова // Вестник ТГУ. – 2011. – № 353. – С. 212-216.
 39. Лопотко, М.З. Озера и сапропель. Минск: Наука и техника, 1978. – 88 с.
 40. Мазуров, А.К. Перспективы золотого и уранового оруденения в пределах Томь-Колыванской складчатой зоны / А.К. Мазуров, А.Ф., Коробейников, Л.П. Рихванов // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири: матер. межрег. научно-практич. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – С. 214-219.
 41. Максимова, А.Ю. Уран и торий в многокореннике обыкновенном и торий в многокореннике обыкновенном (*spirodelapolyrhiza*, *lemnoideae*) на территории томской области // геология в развивающемся мире. – 2014. – С. 197-200.
 42. Межибор, А.М. Экогеохимия элементов-примесей в верховых торфах Томской области: дис. ... канд. геол-мин. наук. – Томск, 2009. – 153 с.
 43. Назаров, А.Д. Нефтегазовая гидрогеохимия юго-восточной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции / А.Д. Назаров. – М.: Идея-пресс, 2004. – 288 с.
 44. Парначев, В.П., Парначев, С.В. Геология и полезные ископаемые окрестностей города Томска.- Томск, изд-во ТГУ, – 2010. – 165 с.
 45. Пидопличко, А.П. Озерные отложения Белорусской ССР / А.П. Пидопличко. Минск. – 1975. – 120 с.

46. РД 52.24.609-2013 Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов. Ростов-на-Дону. – 2013. – 43с.
47. Рихванов, Л.П. Естественные радиоактивные элементы в почвах томской области / Л.П. Рихванов, С.А. Грязнов, С.И. Сарнаев // Природокомплекс Томской области. – Томск: Изд-во ТГУ, 1995. – С. 197-212.
48. Рихванов, Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 384 с.
49. Рихванов, Л.П. Циркон-ильменитовые россыпные месторождения-как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона. / Л.П. Рихванов, С.С. Кропанин, С.А. Бабенко. – Кемерово. – 2001. – 224 с.
50. Рихванов, Л.П. Ретроспективная оценка поступлений радиоактивных веществ в природную среду / Л.П. Рихванов, Т.А. Архангельская, А.М. Беляева, Л.В. Жорняк, Ю.Л. Фетисова, А.Ю. Шатилов // Труды междунар. конф. «Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий», Москва, 5-6 декабря 2005 г. – СПб.: Гидрометеиздат, 2006. – С. 325-331.
51. Рихванов, Л.П. Радиоактивные элементы в окружающей среде / Л.П. Рихванов, С.И. Арбузов, Н.В. Барановская, и др. // Известия Томского политехнического университета, 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 128–136.
52. Рихванов, Л.П. Состояние компонентов природной среды Томской области по данным эколого-геохимического мониторинга и здоровье население / Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков, Н.В. Барановская, А.М. Беляева, Л.В. Жорняк, А.В. Таловская, О.А. Денисова, Ю.И. Сухих // Безопасность жизнедеятельности, 2008. – № 1. – с. 29-37.
53. Росляков, Н.А. Минерагения области сочленения Салаира и Колывань-Томской складчатой зоны / Н.А. Росляков, Ю.Г. Щербаков, Л.В. Алабин и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. – 243 с.
54. Росляков, Н.А. Экзогенное концентрирование радионуклидов в торфяниках и корях выветривания Новосибирской области / Н.А. Росляков,

- Ю.А. Калинин, Н.В. Рослякова и др. //Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы II международной конференции. – Томск: изд-во “Тандем – Арт”, 2004. – С. 522-526.
55. Росляков, Н.А. К вопросу об источниках радионуклидов в торфяниках юга Западной Сибири / Н.А. Росляков, В.А. Бобров, Д.К. Белянин // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Материалы V международной научно-практической конференции, 15-18 октября 2008 г. – Семей, 2008. – С. 346-348.
56. Росляков, Н.А. Естественные радионуклиды в геологической среде Новосибирской области / Н.А. Росляков, С.М. Жмодик, В.Г. Пахомов // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы IV Междунар. конф. (Томск, 4-8 июня 2013 г.). – Томск, 2013. – С. 461-464.
57. Рудмин, М.А. Элементы-примеси в железорудных оолитах Бакчарского узла (Томская область) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – №. 3с-2. – С. 28-32.
58. Сает, А.И. Геохимия окружающей среды / А.И. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
59. Савичев, О.Г., Льготин В.А. Пространственные изменения химического состава донных отложений рек Томской области // География и природные ресурсы. – 2008. – № 3. – С. 46-51.
60. Сапожников, Ю.А. Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 286 с.
61. Сапропелевые месторождения СССР: Справочно-инструктивные материалы / Под ред. М. И. Нейштадта. - М.: Изд-во АН СССР. – 1964. – 364 с.
62. Семенова, З.В. Сапропель озера Очауль и его минеральный состав / З.В. Семенова, М.А. Литвинцева, С.Н. Евстафьев, И.В. Сандимиров // Химия твердого топлива – Иркутск, 2005. – №2. – С. 10-15.

63. Соболев, И.С. О возможности использования комплекса радиогеохимических методов при прогнозировании и поисках глубокозалегающих урановых месторождений гидрогенного типа / И.С. Соболев, Л.П. Рихванов, Н.Г. Лященко // Актуальные проблемы урановой промышленности: Сборник докладов VI Международной научно-практической конференции – Алматы. – 2010. – С. 380-385.
64. Смыслов, А.А. Карта угленосности, сланценосности и геохимической специализации углей и горючих сланцев России. Масштаб 1:10 000 000. Объяснительная записка Текст. / А.А. Смыслов, Ю.Н. Малышев, Б.Б. Голубев и др. М. – СПб, 1996. – С. 27 - 47.
65. Стеклов, Н.А., Ильина Е.Д. О генетической классификации отложений сапропеля // Проблемы использования сапропелей в народном хозяйстве. Минск: «Наука и техника», 1976. – С. 63-73.
66. Страховенко, В.Д. Закономерности распределения микроэлементов в донных отложениях озер Сибири / В.Д. Страховенко, Б.Л. Щербов, И.Н. Маликова // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Матер. IV Междунар. научно-практ. конф. – г. Семипалатинск, 19–21 октября 2006 г. – Семипалатинск, 2006. – Т. II. – С. 263–269
67. Страховенко, В.Д. Современное распределение естественных радионуклидов и ^{137}Cs в донных отложениях озер различных регионов Сибири / В.Д. Страховенко, Б.Л. Щербов, И.Н. Маликова, Ю.И. Маликов // Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: Труды Междунар. конф.; под ред. акад. Ю.А. Израэля. – г. Москва, 5–6 декабря 2005 г. – СПб.: Гидрометеиздат, 2006. – Т. 2. – С. 310–316.
68. Страховенко, В.Д. Закономерности распределения естественных радионуклидов в донных отложениях озер различных регионов Сибири / В.Д. Страховенко, Б.Л. Щербов, И.Н. Маликова, Ю.С. Восель // Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды: Материалы Всероссийской научной конференции (с участием иностранных ученых). -

- Иркутск, Изд-во Института географии им. В.Б.Сочавы СО РАН, 2007. - Т.1. - С.233-236.
69. Страховенко, В.Д. Закономерности распределения радионуклидов и редкоземельных элементов в донных отложениях озер различных регионов Сибири / В.Д. Страховенко, Б.Л. Щербов, И.Н. Маликова, Ю.С. Восель // Геологи и геофизики. – 2010. – Т. 51 – С. 1501–1514.
 70. Страховенко, В.Д. Геохимия донных отложений малых континентальных озер Сибири: диссер. ... докт. геол-мин. наук. – Новосибирск, 2011. – 307 с.
 71. Стрельников, С.И. Новая геологическая карта России и прилегающих акваторий масштаба 1: 2 500 000 / С.И. Стрельников, О.П. Дундо, А.Ф. Морозов и др. // Региональная геология и металлогения. – 2000. – № 11. – С. 106-110.
 72. Судыко, А.Ф. Определение урана, тория, скандия и некоторых редкоземельных элементов в двадцати четырех стандартных образцах сравнения инструментальным нейтронно-активационным методом / А.Ф. Судыко // Материалы V Международной конференции: Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. г. Томск, 13–16 сентября 2016 г.
 73. Судыко, А.Ф. Определение урана и тория в природных объектах нейтронно-активационным методом // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. II Междунар. конф. – Томск: Изд-во «Тандем–Арт», 2004. – С. 587–592.
 74. Сысо, А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Новосибирск, 2004. – 32 с.
 75. Таловская, А. В. Уран и торий в пылевых аэрозолях Томской области / А.В. Таловская, Е.Г. Язиков, Е.А. Филимоненко, А.Ф. Судыко // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы IV Международной конференции, 4-8 июня 2013 г., г. Томск / – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 518-523.

76. Титаева, Н.А. Ядерная геохимия: учебник. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 336 с.
77. Тарантов, А.С. Минералогический состав сапропелей как отражение гидрохимической эволюции озер // Методы исслед. торф, и сапр. отлож. – Калинин: КГУ. – 1989. – С. 4-16.
78. Титов, Е. М. О классификации пресноводных сапропелей // Сапропели и их использование. Минск. – 1958. – С. 29-40.
79. Удачин, В.Н. Изотопная геохимия донных отложений озер Южного Урала для оценки масштабов горнопромышленного техногенеза. / В.Н Удачин, В.В. Дерягин, Р. Китагава, П.Г. Аминов // Вестник Тюменского гос. ун-та. – 2009. – №3. – С. 144-149.
80. Удачин, В.Н. Экогеохимия горнопромышленного техногенеза южного Урала: автореф. дис. ... д. геол.-мин. наук: 25.00.09. – Томск, 2012. – 44 с.
81. Усенков, С.М. Динамические типы дна и загрязнение донных отложений Ладожского озера/ С.М. Усенков, А.Г. Свешников // Программа "Университеты России". Геология, – ч.2. М.: МГУ, – 1995, – С.153-158.
82. Хаджеева, З.И., Распределение металлов в донных отложениях протоков дельты р. Селенга / З.И. Хаджеева, А.К. Тулохонов // Геохимия, 2007. – №2. – С.216-223.
83. Хомичев, В.Л. Эталон борок-бибеевского габбро-гранитоидного комплекса (Колывань-Томская зона) / В.Л. Хомичев, Ю.Н. Никонов, Р.М. Антонович // Эталоны магматических комплексов Сибири. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2003. – С. 235-242.
84. Чернов, В.К. Результаты микробиологического анализа образцов диатомитов северной Карелии // Учен. зап. ЛГУ, № 30, сер. Биол. Вып.8. – 1939. – С. 173-177.
85. Черняев, Е.В. Геология и полезные ископаемые юга Томской области. / Е.В. Черняев, Е.И. Черняева, О.П. Капишникова // Материалы региональной конференции геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. Томск, 2000. Т. 2. С. 190-192.

- 86.Черняев, Е.В. Твердые полезные ископаемые Томской области / Е.В. Черняев, В.К. Бернатонис, Г.Ю. Боярко // Региональная геология. Геология месторождений полезных ископаемых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2001. – С. 361-368.
- 87.Черняев, Е.В. Томское золото // Глобус. Геология и бизнес. – 2009 –№1(04). – С. 26-28.
- 88.Шатилов, А.Ю. Вещественный состав и геохимическая характеристика атмосферных выпадений на территории Обского бассейна: диссер. ... канд. геол.-мин.наук / А.Ю. Шатилов. – Томск, 2001. – 205 с.
- 89.Шайхиев, И.Р. Эколого-геохимические исследования природных сред района Бакчарского железорудного месторождения (Томская область) / И.Р. Шайхиев, Л.П. Рихванов // Известия Томского политехнического университета. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – Т. 326. – № 5. – С. 62-78.
- 90.Шайхиев, И.Р. Эколого-геохимическое состояние компонентов природной среды Бакчарского района на территории предполагаемого освоения ресурсов железных руд: автореф. дис ... к.г.-м.н. наук 25.00.36. – Томск, 2017. – 22с.
- 91.Шор, Г.М. О возможности выявления гидрогенного платиноидного оруденения в чехле юго-восточной части Западно-Сибирской плиты. / Г.М. Шор, Г.В. Дитмар, Н.И. Комарова и др. // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. – М.: Геоинформмарк, 1995. –Т. II, кн. 2. – С. 89-92.
- 92.Экман, И.М. Карелия //История озер Восточно-Европейской равнины. СПб.: Наука, 1992. – С.45-50.
- 93.Эйрих, С.С. Оценка глобального и регионального вклада, а также природной и антропогенной составляющих в общее ртутное загрязнение атмосферы Алтая / С.С. Эйрих, Т.С. Папина, Н.С. Фролова и др. // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты: Материалы Международного симпозиума. – Москва, 7–9 сентября 2010 г. – М.: ГЕОХИ РАН, 2010 – С. 162-168.

94. Юркевич, Н.В. Карьерные озера: особенности состава и экологический риск (на примере Салаирского рудного поля) // Междунар. науч. конф. «Топорковские чтения»: Тез. докл. Междунар. конф., 6-7 июня 2008. – Рудный, 2008. – С. 67-72.
95. Язиков, Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: автореферат диссер. ... доктора геол.-мин. наук / Е.Г. Язиков. – Томск, 2006. – 45 с.
96. Яковлев, С.А. Методическое руководство по изучению и геологической съемке четвертичных отложений. М: Госгеотехиздат. 1954. – 101 с.
97. Alemdaroglu T., Onur E., Erkakan F. Trace metal levels in surface sediments of Lake Manyas, Turkey and tributary rivers / T. Alemdaroglu, E. Onur, F. Erkakan // Int. J. Environ. Stud. – 2003. – №60. – P. 287-298.
98. Appleby, P. G. The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment / P. G. Appleby, F. Oldfield // Catena. – 1978. – Vol. 5. – P. 1-8.
99. Arbuzov, S.I. Anomalous gold contents in brown coals and peat in the south-eastern region of the Western-Siberian platform / S. I. Arbuzov, L. P. Rikhvanov, S. G. Maslov, V. S. Arhipov, A. M. Belyaeva // International journal of coal geology. 2006. – V. 68. – P. 127-134.
100. Aubert, D. Origin and fluxes of atmospheric REE entering an ombrotrophic peat bog in Black Forest (SW Germany): evidence from snow, lichens and mosses / D. Aubert, G. Le Roux, M. Krachler, A. Cheburkin, B. Kober, W. Shotyk, P. Stille // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2006. – № 70. – P. 2815–2826.
101. Beeton A.M. Eutrophication of the St. Lawrence Great Lakes. // Limnol Oceanogr. 1965. – N 10. – P. 240 - 254.
102. Boyle, J. F. Inorganic geochemical methods in palaeolimnology. In Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Physical and Geochemical Methods. Volume. 2001 – V.2. – P. 83-141.
103. Bradley, R.S., 1990. Holocene paleoclimatology of the Queen Elizabeth Islands, Canadian high arctic. Quat. Sci. Rev. 9. – P. 365-384.

104. Douglas, M.S.V., Smol, J.P., Blake, W. Marked post-18th century environmental change in higharctic ecosystems. *Science* 266. 1994– P.416-419.
105. Edgington, D. N. Records of lead deposition in Lake Michigan sediments since 1800 / D. N. Edgington, J. A. Robbins // *Environmental Science and Technology*. – V.10. 1976. – P. 266-274.
106. Edlund, S.A., Alt, B.T. Regional congruence of vegetation and summer climatic patterns in the Queen Elizabeth Island, N.W.T., Canada./ S.A. Edlund, B.T. Alt // *Arctic* – V.42. – 1989. – 3–23.
107. Elderfield, H. The rare earth elements in seawater / H. Elderfield, M. Greaves // *Nature*. –V.296. –1982. –P.214-219.
108. Engstrom, D.R. Chemical stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change. In: Haworth, E.Y., Lund, J.W.G. (Eds.)/ D.R. Engstrom, H.E. Wright Jr. // *Lake Sediments and Environmental History*. University of Minnesota Press, Minneapolis. – 1984. – P.11–67.
109. Gauthier-Lafaye, F. Radioisotope contaminations from releases of the Tomsk–Seversk nuclear facility (Siberia, Russia) / F. Gauthier-Lafaye, L. Pourcelot, J. Eikenberg, H. Beer, G. Le Roux, L.P. Rhikvanov, P. Stille, Ph. Renaud, A. Mezhibor// *Journal of Environmental Radioactivity*. – V. 99. – 2008. – P. 680-693.
110. Goldberg, E.G. Geochronology with Lead-210. / In: *Radioactive Dating*. IAEA. Vienna. – 1963. – P.121.
111. Heyvaert, A.C., Reuter J.E., Sloton D.G., Goldman C.R. Paleo-limnological reconstruction of historical atmospheric lead and mercury deposition at Lake Tahoe, California-Nevada // *Environ. Sci. Tech.* – 2000. – №34. – P. 3588-3597.
112. Kennedy, E.J. Environmental studies of mercury and other elements in coal and lake sedimentsas determined by neutron activation analysis / E.J. Kennedy, R.R. Ruch, H.J. Gluskoter, and N.F. Shimp // *Nucl. Methods Environ. Res. Proc. Amer. Nucl. Soc. Top. Meet.* – Columbia, 1971. – P. 205–215.
113. Marzecová, A., Mikomagi A, Koff A., Martma, T. Sedimentary geochemical response to human impact on Lake Nõmmejärv, Estonia / A. Marzecová,

- A. Mikomagi, A. Koff, T. Martma, // Estonian Journal of Ecology – 2011. – V. 60. P.305-320.
114. Miralles, J. Multitracer study of anthropogenic contamination records in the Camargue, Southern France / J. Miralles, O. Radakovitch, J. K. Cochran, A. Véron, P. Masqué // Science of the total environment. – 2004. – № 320. – P. 63-72.
115. Nriagu, J.O. Sedimentary record of heavy metal pollution in lake Erie / J.O. Nriagu, A.L.W. Kemp, N. Harper // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1979. – V. 43. – P. 247–1258.
116. Park, S. Impact of invasive plant and environmental conditions on denitrification potential in urban riparian ecosystems / S. Park, H. Kang // Chemistry and Ecology. – 2010. – V. 26. – №5. – P. 353-360.
117. Rollinson, H.R. Using geochemistry data: evolution, presentation, interpretation / H.R. Rollinson. – Essex: London Group UK Ltd., 1994. – 352p.
118. Sanei H., Goodarzi F., Outridge P.M. Spatial distribution of mercury and other trace elements in recent lake sediments from central Alberta, Canada: an assessment of the regional impact of coal-fired power plants / H. Sanei, F. Goodarzi, P.M. Outridge // Int. J. Coal Geol. – 2010. – V. 82. – № 1. – P. 105–115.
119. Treese, T. N., Owen, R. W. & Wilkinson, B. H. Sr/Ca and Mg/Ca ratios in polygenetic carbonate allochems from a Michigan marl lake / T.N. Treese, R.W. Owen, B. H. Wilkinson // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1981. V. 45(3). – P.439-445.
120. Электронная энциклопедия. <http://wiki.tpu.ru/wiki/> (дата обращения: 05.11.2016).
121. Map of Russia - Tomsk Oblast (2008-03). <https://be-tarask.wikipedia.org> (дата обращения 07.04.2015).