

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОПОНЕНТА

на диссертационную работу Мезиной Ксении Александровны  
**«Радиоактивность наземных экосистем на примере мохового и лишайникового покровов Арктического и южного регионов Западной Сибири»,**  
*представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».*

**Актуальность темы диссертации** не вызывает сомнений, поскольку связана с высокой экологической значимостью радиоактивности в развитии живых организмов и функционировании экосистем. Радиоактивность, формируемая в результате распада некоторых химических элементов, оказывает крайне негативное воздействие на живые клетки в результате воздействия на них как непосредственно радиоактивного излучения, так и различных частиц, образующихся при распаде. Поэтому важно знать уровни и источники радиации, процессы накопления и миграции радионуклидов в экосистемах для минимизации воздействия ионизирующего излучения на биоту и человека. Основным каналом поступления радиоактивных элементов как естественного, так и техногенного происхождения, в наземные экосистемы является атмосфера. Радионуклиды, присутствующие в атмосфере в составе аэрозолей, поступают на поверхность земли в виде «мокрых» (совместно с осадками) и сухих выпадений. Определение уровней активностей и форм нахождения радионуклидов в составе аэрозолей, сезонной динамики их поступления, как и выяснение дальнейшей судьбы выпавших на поверхность радионуклидов (накопление, миграция в компонентах наземных экосистем – почвы, растительность, биота) являются важнейшими задачами геохимических исследований. В связи с этим, автор диссертационной работы Мезина К.А. на примере Арктического и южного регионов Западной Сибири поставила своей целью установить особенности, выявить условия и закономерности формирования современного уровня радиоактивности мохово-лишайникового покрова как важнейшего компонента наземных экосистем Западной Сибири, выполняющего роль ценного биоиндикатора, отражающего состояние загрязненности атмосферы. Объектами исследований были выбраны сезонные снеговые выпадения, сквозные виды лишайников и мхов, а также подстилающие почвы.

**Структура и содержание работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения, включает 220 страниц текста, 76 рисунков и 28 таблиц, 3 приложения и сопровождается внушительным списком литературы из 416 наименований, из которых 223 на иностранных языках.

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены предмет и объекты исследований, сформулирована цель и поставлены основные задачи для ее достижения, представлена научная новизна, отмечены теоретическая и практическая значимость работы, кратко описаны методы исследований и объем отобранного и проанализированного материала, сформулированы защищаемые положения, обозначен личный вклад автора, показаны уровень апробации работы и основные публикации по теме диссертации.

В **Главе I** описано современное состояние изученности радиоактивности наземных экосистем Арктического и южного регионов Западной Сибири. В разделе 1.1 показаны многочисленные примеры использования радиоактивных элементов как эффективных инструментов для индикации атмосферного переноса вещества. Рассмотрев эти примеры,

автор заключает, что в практике мировых исследований атмосферного переноса вещества наибольшее распространение получили три радионуклида: космогенный  $^7\text{Be}$ , литогенный  $^{210}\text{Pb}$  и техногенный  $^{137}\text{Cs}$ , что связано с их высокими активностями в окружающей среде и относительно простым определением гамма-спектрометрическим методом, не требующим сложной радиохимической подготовки. Некоторое внимание уделено примерам использования этих радионуклидов для оценки процессов эрозии почв и датирования молодых осадочных отложений, что, однако, не имеет прямого отношения к теме диссертационной работы и выглядит лишним в разделе. Далее автор из атмосферы спускается на поверхность земли и рассматривает природные объекты, эффективно накапливающие химические элементы, в том числе радионуклиды из атмосферы и отражающие загрязнение атмосферного воздуха. В качестве таких объектов автор предлагает рассматривать мхи и лишайники, признанные мировым научным сообществом в качестве растений-индикаторов загрязненности окружающей среды и атмосферы, которые заслужили такое звание в силу своих уникальных биологических особенностей, перечисленных автором в разделе 1.2. В следующем разделе 1.3 автор совершенно логично приводит обзор всех доступных ему литературных данных о содержании радионуклидов во мхах и лишайниках изучаемой в диссертации территории – Западной Сибири. Приведены сведения, в том числе авторские, об активностях техногенных  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и естественных  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$  радионуклидов в лишайниках и мхах различных природно-климатических зон региона, сменяющих друг друга севера на юг – от тундры на Ямале до горной тайги Алтайского края. Тем не менее, автор указывает, что в настоящее время данных о фоновом содержании естественных радионуклидов в лишайниках и мхах различных ландшафтных зон на территории Западной Сибири недостаточно, что подчеркивает актуальность диссертационной работы. Далее в разделе 1.4. автор рассматривает процесс поступления радионуклидов из атмосферы на поверхность земли, связанный с выпадением аэрозолей в составе «мокрых» и «сухих» выпадений. В качестве наиболее представительного объекта, характеризующего интегральное поступление радионуклидов из атмосферы за длительный период времени, автор предлагает использовать снежный покров, что вполне очевидно, учитывая столь продолжительный период устойчивого снежного покрова в Западной Сибири (от 5-6 месяцев на юге, до 9 месяцев на севере региона). Далее автор приводит литературный обзор исследований, посвященных изучению загрязнения снежного покрова Западной Сибири радиоактивными элементами, в основном U и Th. Отмечается, что данных об активностях других радионуклидов в снеге региона, таких как  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  и  $^7\text{Be}$  практически нет, а немногочисленные имеющиеся данные получены научным коллективом, в который входит автор диссертации. А ведь именно сведения об этих радионуклидах в снеге позволяют более комплексно взглянуть на проблему загрязнения атмосферы радиоактивными элементами, количественно охарактеризовать атмосферный канал поступления радиоактивности в наземные экосистемы! Это дополнительно подчеркивает высокую актуальность исследований диссертанта. Принимая во внимание тот факт, что после таяния снега, накопленная в нем радиоактивность активно переходит в наземные экосистемы, в том числе мхи и лишайники, где может накапливаться в биологически значимых концентрациях, автор в разделе 1.5 кратко рассматривает подходы к оценке воздействия ионизирующих излучений на живые организмы. Подводя итог главе 1 можно отметить хорошую проработанность литературного материала и обилие ссылок на отечественные и зарубежные работы, что характеризует автора как в

полной мере владеющего методами работы с научной литературой и хорошо осведомленного о современных исследованиях по теме диссертации. Эта большая работа, проделанная автором, позволила ему обосновать актуальность своего исследования и выделить «белые пятна» в работах предшественников и четко обозначить проблему своего исследования, связанную с необходимостью комплексной оценки радиоактивности наземных экосистем Арктического и южного регионов Западной Сибири на примере мохового и лишайникового покровов. В тоже время, вызывает некоторое сожаление, что в этой главе не нашлось места описанию геохимических свойств исследуемых радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  и  $^7\text{Be}$ , которые и определяют их распределение, накопление и миграцию в компонентах наземных экосистем, ведь диссертация представлена на соискание ученой степени по научной специальности «Геохимия...», которая эти вопросы и рассматривает.

**Глава 2** «Объекты исследования» посвящена краткому описанию природных условий исследуемых районов и основных объектов исследования – мхов, лишайников, снега и подстилающих почв, являющихся сквозными компонентами наземных экосистем в рассматриваемых районах. Непосредственно районами исследований являлись Арктический, в границах Ямало-Ненецкого автономного округа, и южный, в границах Новосибирской области и Алтайского края, регионы Западной Сибири. Для каждого региона, на территориях которых проводились исследования и отбор проб, приведено описание географического положения, рельефа, геологического строения, климата, почвенно-растительного покрова и животного мира. Несмотря на название раздела 2.2. «Природно-геологические особенности исследуемых районов», описанию непосредственно геологического строения уделено совсем мало внимания, особенно для Ямало-Ненецкого автономного округа, что соответственно позволяет понять немного. К тому же при описании геологического строения разных регионов автор не выдерживает единого шаблона, тоже относится и к описанию других природных условий. При описании растительности Алтайского края, автор смешал в кучу в одном предложении ландшафтные зоны, жизненные формы растений, типы растительности и типы растительных сообществ. Важным моментом является то, что в главе представлены данные о количестве отобранных объектов исследования, объем которых весьма внушителен и вполне достаточен для достижения поставленной автором цели: 170 образцов лишайников, 72 образца мха, 57 образцов снеговых выпадений, 27 образцов лесных подстилок и 35 образцов подстилающих почв.

**Глава 3** посвящена описанию методов исследования. В начале главы автор перечисляет административные районы регионов, где проводились исследования и проводит данные о периодах выполнения экспедиционных работ, Надо отметить, что это многолетние исследования, охватывающие период с 2017 по 2022 гг., что подчеркивает фундаментальность работы диссертанта. Представлены подробные карты с обозначением точек отбора проб и типа опробованного объекта. Подраздел 3.1.1 раздела 3.1 знакомит нас с методиками пробоотбора мхов и лишайников. Виды опробованной мохово-лишайниковой растительности были идентичными для разных районов исследования (лишайник вида *Cladonia stellaris*, мох – *Hylocomium splendens*), то есть являлись «сквозными», что крайне важно при сопоставлении данных из разных природно-климатических зон региона. Далее приводится подробное описание методов пробоотбора, направленных на нивелирование локальной площадной неоднородности распределения радионуклидов в мохово-лишайниковой растительности (методы «квадрата» и

«конверта»), что методически является верным и обоснованным подходом, применяемым в подобного рода исследованиях. Подробно описаны лабораторные методы пробоподготовки, включающие в себя очистку от сторонних растительных остатков, сушку, озоление, взвешивание. Не менее подробно описан и следующий подраздел 3.1.3 (подраздел 3.1.2, кажется, пропущен), касающийся отбора и пробоподготовки снега, где следование стандартным методическим рекомендациям и приемам работы с пробами снега, позволили автору получить представительные образцы для последующих измерений. В конечном итоге из образцов снега были выделены три фракции с разной размерностью взвешенного вещества:  $<0,45$  мкм,  $0,45 - 3$  мкм и  $> 3$  мкм. Не совсем понятен смысл последнего в подразделе 3.1.3 абзаца, касающийся авторских изменений к общепринятому подходу к подкислению проб атмосферных осадков. Подход, когда подкисляется (точнее консервируется) не вся проба талого снега, а только фильтрат, содержащий уже растворенные компоненты, как раз и является общепринятым в геохимических исследованиях. В разделе 3.1.3 указано, что в талых снеговых водах проводили измерения pH и Eh, однако не указано для каких целей проводили анализ этих неустойчивых физико-химических параметров (особенно параметра ОВП) и в дальнейшем эти данные никак в интерпретации не участвуют. В следующем подразделе 3.1.4 представлена методика опробования подстилающих почв. Судя по тексту, опробование проводилось не по генетическим горизонтам почв, а послойно до глубины 30 см, насколько такой способ отбора оправдан? Представлена фотография типичного почвенного разреза территории Бурлинского ленточного бора Алтайского края, но не указано что это за тип почв. Хорошо было бы увидеть строение и других опробованных почвенных разрезов. В разделе 3.2 автор приводит подробное описание методов измерений радионуклидного состава исследуемых объектов – полупроводниковой и сцинтилляционной гамма-спектрометрии. Полнота описания методов измерений и технических характеристик аппаратуры позволяют судить о хорошем качестве полученных данных. В качестве дополнительных кратко описаны рентгенофазовый и рентгенофлуоресцентный методы анализа, направленные на исследование минерального и химического состава подстилающих почв. В тоже время не указано, для чего нужны эти данные и какую ценность они имеют для достижения цели работы. Как мы увидим дальше, эти данные применения в интерпретации результатов не найдут и будут лишь в качестве краткой справки упомянуты в подразделе 6.3.2.2 главы 6. А вот посмотреть на минеральный и химический состав аэрозолей было бы весьма интересно! Далее автор описывает метод идентификации удаленных источников поступления радионуклидов на основе расчета траекторий движения воздушных масс с помощью широко применяемого инструмента – модели HYSPLIT. В самом последнем подразделе раздела 3.2 приведено описание метода измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в местах отбора проб мохово-лишайниковой растительности.

**Глава 4** посвящена непосредственно результатам исследований автора диссертационной работы. В этой главе представлены результаты исследований поступления  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^7\text{Be}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в составе сезонных снеговых выпадений. Рассмотрение данных о содержании радионуклидов в снеге автор начинает с Арктического региона Западной Сибири (раздел 4.1). Данные по этому региону представлены в таблице 4.1 в виде потоков осаждения и удельных активностей радионуклидов. Поток осаждения характеризует поступление радионуклидов на площадь пробоотбора за период устойчивого снегонакопления (6 месяцев), а удельные активности характеризуют

активность радионуклидов в объеме снеговой воды за тот же период. Эти данные приведены для каждой фракции талых снеговых вод и в виде суммы фракций, что очень удобно для восприятия. Отдельно в таблице 4.1 показано отношение активностей  ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}$  в различных фракциях проб. Согласно таблице и заключению автора все три радионуклида обнаруживаются во всех выделенных фракциях взвешенного и растворенного вещества снеговых вод. Однако активности  ${}^{137}\text{Cs}$ , как повествует автор, имеют погрешности более 30 % и близки к пределу обнаружения используемого метода гамма-спектрометрии (0,02 Бк согласно главе 3), исходя из чего автор совершенно логично делает вывод о невозможности совместной интерпретации данных по  ${}^{137}\text{Cs}$  и  ${}^{210}\text{Pb}$  и  ${}^7\text{Be}$ , активность которых значительно выше. В тоже время, всё таки хотелось бы посмотреть на аналитические погрешности определения радионуклидов исходя из массы навесок. Далее автор указывает, что учитывая короткий период полураспада  ${}^7\text{Be}$  (186 сут), данные о его активности в талой снеговой воде фактически не будут отражать его реальное поступление за сезон снегонакопления, что вполне очевидно. Имеющиеся в настоящее время расчетные методы коррекции данных по  ${}^7\text{Be}$  с учетом его распада и снегонакопления не позволяют учесть множество факторов, влияющих на точное значение суммарного потока  ${}^7\text{Be}$ , и соответственно не позволяют получить адекватные данные. Исходя из этого, автор предлагает для интерпретации использовать величины активностей  ${}^7\text{Be}$ , определенные на момент отбора проб, с чем можно согласиться. Автор обращает внимание на отсутствие связи между удельными активностями  ${}^{210}\text{Pb}$  и  ${}^7\text{Be}$  и количеством выпавших осадков. Более показательной является теснота связи между потоком осаждения  ${}^{210}\text{Pb}$  и  ${}^7\text{Be}$  и количеством выпавших осадков, составляющая для  ${}^{210}\text{Pb}$   $r = 0,88$ , а для  ${}^7\text{Be}$   $r = 0,75$ , что связано с вымыванием с осадками, являющимся доминирующим механизмом удаления этих изотопов из атмосферы. Далее автор переходит к рассмотрению распределения  ${}^{210}\text{Pb}$  и  ${}^7\text{Be}$  по фракциям взвешенного и растворенного вещества снеговых вод. Показательным является рисунок 4.4, отражающий распределение активностей радионуклидов по фракциям снеговых вод рассчитанные для всей выборки. Показано, что  ${}^7\text{Be}$  в основном концентрируется в составе мелкодисперсной фракции  $< 0,45$  мкм, а  ${}^{210}\text{Pb}$  наоборот в составе крупнозернистой  $> 3$  мкм. Крайне интересными являются также данные по  ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}$  отношению в различных фракциях снеговых вод. Так, максимальное  ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}$  отношение равно 6.2 характерно для мелких фракций  $< 0,45$  мкм, а для более крупных он находится в диапазон 1,1-1,2. Такое распределение автор объясняет тем, что именно мелкодисперсная аэрозольная компонента является основным концентратом-носителем  ${}^7\text{Be}$ , в то время как крупноразмерные аэрозольные частицы имеют недостаточную сорбционную способность для накопления  ${}^7\text{Be}$ . Необходимо отметить, что на рисунках 4.4 и 4.5 распределения радионуклидов по фракциям показаны от мелкодисперсной фракции к крупнозернистой, а в таблицах 4.1 и 4.2, которые рисунки по сути повторяют, наоборот, от крупнозернистой к мелкодисперсной (1, 2, 3), что очень неудобно для восприятия и сопоставления данных. Далее следуют результаты расчета движения воздушных масс, определяющих атмосферные потоки аэрозолей, с использованием модели HYSPLIT на примере района г. Новый Уренгой. Выделено 5 путей поступления воздушных масс в этот район, не смотря на то, что на долю траекторий воздушных масс с южного направления из засушливых регионов (Казахстан) приходится только 20 % траекторий, автор предполагает, что именно они приносят основной объем пылевых частиц, содержащих  ${}^{210}\text{Pb}$ , что в целом логично. Для подтверждения своих выводов автор анализирует данные по активностям

$^{210}\text{Pb}$  и  $^7\text{Be}$  во фракциях снеговой воды исходя из географического положения точек отбора. В обобщенном виде эти данные представлены на рисунках 4.8 и 4.9. При таком рассмотрении становится заметно, что для некоторых точек отбора наблюдается преобладание активности  $^7\text{Be}$  в крупнозернистых фракциях снеговой воды по сравнению с мелкодисперсной фракцией. Например, в точке 4 в составе мелкодисперсной фракции находится лишь 16 % активности  $^7\text{Be}$ , в то время как в составе крупнозернистой фракции 77 %, что сильно отклоняется от средних данных, полученных для общей выборки (66 и 28 %, соответственно). Эту группу точек, где активность  $^7\text{Be}$  в крупнозернистой фракции выше средних значений по выборке автор рассматривает отдельно и предлагает искать причину таких отклонений в территориальном расположении точек опробования. Такой подход помогает автору понять, что все такие «аномальные» точки расположены в зонах воздействия техногенных объектов – промышленных зон, тепловых станций, авто- и железнодорожных магистралей и т.д., которые являются ответственными за выброс в атмосферу пылевого материала в зимний период. Не уходя далеко, хотелось бы отметить, что рисунки 4.8 и 4.9, показывающие территориальное распределение радионуклидов по фракциям (рисунок 4.8 широтное, рисунок 4.9 – меридиональное) очень тяжело воспринимаются, поскольку в них нарушена логика географического представления (например, юг показан сверху, а север внизу). Далее автор приводит усредненные характеристики соотношения  $^{210}\text{Pb}$  и  $^7\text{Be}$  в различных фракциях снеговой воды для точек, удаленных от антропогенных объектов (группа 2) и точек, подверженных влиянию техногенной деятельности (группа 1). Опять таки, в этих обозначениях мы снова видим нарушение логики изложения: от большего к меньшему, от аномалии к фону. Примечательным является распределение  $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}$  отношения между этими группами. Так, если для мелкодисперсных фракций средние  $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}$  отношения в «фоновой» и «антропогенной» группах близки (6,4 и 5,3, соответственно), то для крупнозернистых фракций они различаются в три раза (0,5 в «фоновой» группе, 1,8 – в «антропогенной»). Немного сбивает с толку следующее предложение автора «Существенные отличия наблюдаются и в удельных активностях этих фракций...». А разве предыдущие данные, касающиеся относительного (процентного) соотношения активностей во фракциях не получены из этих абсолютных значений? Если да, то логичнее было бы рассматривать сперва абсолютные цифры, а уже потом относительные, либо параллельно. Далее сравнение как активностей, так и потоков осаждения  $^7\text{Be}$  и  $^{210}\text{Pb}$  в «фоновой» и «антропогенных» группах приводится в виде диаграмм рассеяния  $^7\text{Be}-^{210}\text{Pb}$ , что наглядно демонстрирует закономерности распределения  $^7\text{Be}$  и  $^{210}\text{Pb}$  по фракциям взвешенного вещества снеговых вод. Хорошо видно, что в снеговых осадках, выпадающих на территориях с повышенной техногенной нагрузкой, значительно увеличивается вклад крупнозернистых фракций в общую активность  $^7\text{Be}$ . Тоже самое характерно и для  $^{210}\text{Pb}$  – его активность в крупнозернистой фракции также возрастает на участках с повышенной техногенной нагрузкой, только автор здесь почему-то это не обсуждает. Автором показано, что растут и удельные активности  $^7\text{Be}$  и  $^{210}\text{Pb}$  в суммарных пробах снега (в среднем на 20 % по сравнению с фоновыми участками). Далее мы переходим к рассмотрению региональных значений потоков осаждения  $^{210}\text{Pb}$  и  $^7\text{Be}$  в составе снеговых выпадений для территории Арктического региона Западной Сибири. Автором получены важные данные, характеризующие региональные потоки осаждения  $^{210}\text{Pb}$  и  $^7\text{Be}$ , которые автор скорректировал на количество выпавших осадков, полученных на метеостанциях окружающих точки наблюдения. Здесь не хватает дополнительных столбцов к таблице

4.3, где для каждой точки было бы показано фактическое значение потока радионуклидов и расчетное, согласно данным по осадкам с метеостанций. Так было бы гораздо удобнее, иначе приходится возвращаться на два раздела назад и искать исходные данные. С другой стороны, если так сделать, то будет заметно, что некоторые точки, подверженные техногенному влиянию, «усреднились» почти в два раза (точка 4).

Следующий раздел главы 4 (раздел 4.2) посвящен рассмотрению южного региона Сибири, в пределах которого пробы отбирались на территориях Новосибирской области и Алтайского края. Структура изложения материала и интерпретации данных практически такие же как и в разделе 4.1 (часто даже предложения идентичны, меняются только цифры), что обеспечивает единый подход к представлению результатов исследований. Сперва автор рассматривает содержание радионуклидов в интегральных пробах снега, далее переходит к описанию распределения  ${}^7\text{Be}$  и  ${}^{210}\text{Pb}$  по фракциям снеговых вод. Здесь автор также проводит деление точек опробования на условно-фоновые (группа 2) и подверженные техногенному влиянию (группа 1), что позволяет четко заметить разницу в распределении активностей радионуклидов по фракциям снеговых вод в зависимости от воздействия антропогенных источников. Результаты расчета движения воздушных масс по модели HYSPLIT для южного региона Сибири не приведены, показана лишь роза ветров (рисунок 4.20), однако для какой конкретно точки региона она построена не упоминается. Зато раздел дополнен ценными данными мониторинга поступления  ${}^{210}\text{Pb}$ ,  ${}^7\text{Be}$  и  ${}^{137}\text{Cs}$  в составе снеговых выпадений для 8 точек в Новосибирской области и 2 точек в Алтайском крае на пятилетний период с 2017 по 2022 гг. Автором установлены различия в потоках осаждения  ${}^{210}\text{Pb}$  и  ${}^7\text{Be}$  в составе снеговых выпадений на территории южного региона Западной Сибири, которые напрямую зависят от количества выпавших осадков за зимний период 2017-2022 гг. Наиболее интересным является сравнение данных, полученных для Арктического и южного регионов Западной Сибири. По сути, для этих, географически удаленных друг от друга регионов характерны схожие закономерности: 1)  ${}^{210}\text{Pb}$  и  ${}^7\text{Be}$  присутствуют во всех фракциях снеговых вод, наблюдается сильная корреляция потоков осаждения  ${}^{210}\text{Pb}$  и  ${}^7\text{Be}$  с количеством осадков (при отсутствии значимой связи удельных активностей и осадков), основная активность  ${}^{210}\text{Pb}$  сосредоточена в крупноразмерных фракциях, в то время как  ${}^7\text{Be}$  в основном присутствует в составе мелкодисперсной фракции, близость точек отбора к техногенным объектам значимо меняет распределение радионуклидов по фракциям – доля  ${}^{210}\text{Pb}$  и  ${}^7\text{Be}$  увеличивается в составе крупнозернистой фракции, соответственно увеличивается отношение активностей  ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}$  с 0,6 в «фоновых» районах, до 1,1 в районах, подверженных техногенному воздействию. В последнем разделе главы 4 (раздел 4.3) автор проводит сравнение содержаний радионуклидов в пробах снега. Поскольку описываемые в разделе 4.2 данные (таблица 4.4, 14 проб) на которых базируются основные выводы, касающиеся южных регионов Западной Сибири, относятся к 2021 году, то автор проводит сравнение данных, полученных за 2019 год (7 проб). Однако этих данных в главе 4 мы не найдем, они находятся в приложении А (таблица А9), хотя ссылки в разделе 4.3 на приложение А нет. Там небольшая таблица, для удобства могла бы быть помещена в раздел 4.3. Сравнение данных показывает, что в южной части удельные активности  ${}^{210}\text{Pb}$  и  ${}^7\text{Be}$  выше, чем в арктической части. В тоже время поток осаждения радионуклидов в арктической части был выше, чем в южной, что объясняется автором большим количеством осадков выпавших в Арктическом регионе. Необходимо снова

отметить неудобство восприятия рисунка 4.29 из-за географической путаницы, когда юг сверху, а Арктика снизу.

Тем не менее, на основе изложенных в главе материалов автором выделены четкие повторяющиеся для разных регионов Западной Сибири критерии, которые позволяют характеризовать степень техногенного воздействия на различные территории, что является значимым научным достижением. Вероятно, материалы главы 4 легли в основу первого защищаемого положения. Ожидается, что в конце главы будет приведена формулировка защищаемого положения, однако этого нет и чтобы понять, что именно эти материалы являются доказательствами первого защищаемого необходимо обращаться к автореферату. Не смотря на это, полнота изложения материала и уровень аргументации автора позволяет судить о том, что **первое защищаемое положение полностью доказано.**

Глава 5 посвящена результатам исследований содержания радионуклидов в лишайниках, мхах и лесной подстилке Арктического и южного регионов Западной Сибири. Эту главу предваряет раздел 5.1, в котором изложены методические вопросы пробоподготовки лишайников и мхов в гамма-спектрометрическому анализу. Кажется, что этот методический раздел лучше бы смотрелся в соответствующей главе 3, где автор описывает методику пробоподготовки мхов и лишайников. Ведь изложенное в разделе 5.1 является вопросами пробоподготовки? Тем не менее, изложенные в разделе данные показывают (рис. 5.1), что зольность образца мха или лишайника (то есть сколько золы осталось после сжигания пробы при 450 °С от исходной массы пробы – он же коэффициент озоления) не влияет на измеренную активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^7\text{Be}$ . В то же время активность  $^{210}\text{Pb}$  в пробах с низкой зольностью (в которых больше органики), может быть до 40 % ниже, чем в исходных пробах, что говорит о существенных потерях  $^{210}\text{Pb}$  при озолении. Это важный результат автора, который говорит о том, что для правильной оценки активности  $^{210}\text{Pb}$  в пробах мохово-лишайниковой растительности необходимо вводить поправочные коэффициенты, рассчитанные исходя из экспериментальных данных. Возникает вопрос, куда девается  $^{210}\text{Pb}$ ? К сожалению, автор это не обсуждает. Кажется,  $^{210}\text{Pb}$  не очень летучий радионуклид, в отличие от  $^{210}\text{Po}$  (при радиометрическом определении для него противопоказано сухое озоление, только «мокрое»). Возможно ли, что химические формы нахождения  $^{210}\text{Pb}$  (или минеральный состав зольных компонентов) в высокоорганических пробах мхов и лишайников как-то влияют на его потери? Это важный геохимический вопрос, над которым автору следует поразмыслить. И тогда, предложенный автором способ введения поправочных коэффициентов, возможно, может и не быть универсальным для всех проб, отобранных в разных районах. Тем не менее, для всех описываемых данных об активностях радионуклидов, автор применил соответствующие коэффициенты, что исходя из проведенных экспериментов, на данный момент вполне разумно. Далее автор переходит к обсуждению сезонной зависимости поступления  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^7\text{Be}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в лишайники и мхи южного региона Западной Сибири, изложенные в разделе 5.2. Сравнение данных автор проводит для весеннего и осеннего опробования лишайников в Алтайском крае за 2017 и 2018 гг. (подраздел 5.2.1). Из приведенных данных видно, что активность  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{137}\text{Cs}$  между осенним и весенним опробованием различается несущественно, в то время как активность  $^7\text{Be}$  осенью значительно выше, чем весной. Такие различия в целом соответствуют известным данным о сезонной динамике  $^7\text{Be}$  в атмосфере, о чем автор упоминает. Подобные закономерности присущи и пробам мхов, когда в осенних пробах  $^7\text{Be}$  сильно больше, чем в весенних



(подраздел 5.2.2). Подобно разделам 4.1 и 4.2, описательная часть подразделов 5.2.1 и 5.2.2 выделяется шаблонностью, когда предложения дословно повторяют друг друга, изменены лишь цифры, это с одной стороны удобно для читателя, но с другой стороны не раскрывает весь творческий потенциал автора, а судя по диссертации в целом, творческий потенциал автора весьма высок. Далее переходим к рассмотрению вертикального распределения  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^7\text{Be}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в системах «лишайник-лесная подстилка» и «мох-лесная подстилка» (раздел 5.3). Раздел начинается с описания системы «лишайник-лесная подстилка» для Арктического региона Западной Сибири (подраздел 5.3.1). Выявленные автором закономерности сводятся к следующему. В верхней части лишайников активности  $^7\text{Be}$  и  $^{137}\text{Cs}$  выше, чем в нижней, что связано с атмосферным каналом поступления этих радионуклидов. Активность  $^{137}\text{Cs}$  наоборот растет от верхней к нижней части и в слое лесной подстилки достигает максимальных значений, в то время как  $^7\text{Be}$  в подстилке вообще не обнаруживается. Активность  $^{210}\text{Pb}$  в верхней части лишайника и в лесной подстилке сопоставима, что объясняется пополнением за счет просачивания атмосферными водами. Судя по характеру распределения радионуклидов можно отметить некоторую терминологическую путаницу в плане того, что автор подразумевает под термином «лесная подстилка». Как правило, лесная подстилка это сезонное образование (опад, шишки, иголки и т.д.) и в состав морфологического описания почвенного профиля не входит, соответственно в ней, вероятно, не может быть столько  $^{137}\text{Cs}$  по сравнению с верхними частями лишайников (161 Бк/кг против 15 Бк/кг). А то получается какой-то очень радиоактивный опад. Скорее всего, вместо лесной подстилки автором были отобраны верхние почвенные горизонты – дернина и перегнойный гумусовый горизонт 0-5 см и судя по рисунку 3.9 так оно и есть. Не очень понятно обозначение слоев лишайников: верхняя часть таллома 4-7 см, нижняя часть – 3-9 см. Это их высота? Если высота лишайника, например 10 см и разрезался он пополам, то понятнее обозначать слои, например, как 0-5 см и 5-10 см. Если высота у лишайников разная, то просто упомянуть, что высота изменяется от столько-то до столько-то, что лишайник резали ровно пополам и далее говорить про «верхнюю» и «нижнюю» части, без указания высоты в сантиметрах, иначе это очень запутывает. Для южного региона Западной Сибири при схожих с Арктическим регионом закономерностях распределения  $^7\text{Be}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , характерно несколько иное распределение  $^{210}\text{Pb}$ . Максимальная активность  $^{210}\text{Pb}$  наблюдается в почвенном слое, который автор именуется лесной подстилкой, а минимальная в верхней части лишайника, однако объяснения этому не дано. Чем автор объясняет такое распределение для южного региона? Далее автор переходит к рассмотрению системы «мох-лесная подстилка» для южного региона, для Арктического региона данные не приведены. В отличие от лишайников, мхи были разделены на три части – верхнюю, серединную и нижнюю, соответственно. При движении вниз по стеблю мха автором отмечено резкое снижение активности  $^7\text{Be}$  с 1150 до 111 Бк/кг. Для  $^{210}\text{Pb}$  наоборот отмечается увеличение активности вниз по стеблю с 1013 Бк/кг до 1651 Бк/кг. В «лесной подстилке» активность  $^{210}\text{Pb}$  в целом сопоставима с верхней частью мха, в то время как  $^7\text{Be}$  в подстилке не обнаруживается. Максимальная активность  $^{137}\text{Cs}$  приурочена к подстилке. Автор указывает, что повышенные активности  $^{137}\text{Cs}$  в подстилке южного региона Западной Сибири связаны с испытаниями на Семипалатинском полигоне. А было ли влияние от испытаний на Новой Земле и наоборот, испытала ли подстилка Арктического региона влияние Семипалатинских испытаний? Тем не менее, выявленные автором закономерности распределения радионуклидов в системах «лишайник-лесная подстилка» и «мох-лесная

подстилка» весьма показательные и интересные и отражают современное поступление радионуклидов из атмосферы. В разделе 5.4, являющимся методическим, автор повествует о проблемах неравномерного площадного распределения радионуклидов в лишайниках и о том, как их решать. Автор предлагает отбирать несколько проб лишайников в одной условной точке наблюдения площадью от 10x10 м до 100x100 м и в последующем либо определять содержания радионуклидов в каждой точке усредняя данные, либо отобранные пробы объединять и изучать как единый образец. Судя по подразделу 3.1.1 главы 3, автор пользовался и первым и вторым способами, однако в подразделе 3.1.1 указано, что размер участков опробования составлял 50x50 м. Всё же какой размер участков опробования был в действительности и как влияет размер участков опробования на локальную неоднородность активностей радионуклидов? Следующий раздел 5.5 посвящен современным уровням и сравнительному анализу содержания  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^7\text{Be}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в лишайниках и мхах Арктического и южного регионов Западной Сибири. Этот раздел базируется на данных мониторинговых исследований 2017-2020 гг. Сравнение проводится по данным осеннего опробования, что вполне логично, поскольку ранее автором было показано, что именно осенью активность  $^7\text{Be}$  в лишайниках южного региона максимальная. Однако активности  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{137}\text{Cs}$  наоборот осенью ниже. Тем не менее, автором показано, что средние активности  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^7\text{Be}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в лишайниках и мхах Арктического региона из года в год увеличиваются. Схожая динамика наблюдается и для накопленного запаса, правда только для  $^7\text{Be}$ . Увеличение накопленного запаса  $^7\text{Be}$  в лишайниках в период с 2018 по 2020 гг. коррелирует с увеличением количества выпавших осадков в Арктическом регионе, что подтверждается рисунком 5.12. Автор в тексте указывает, что и для мхов Арктического региона наблюдается аналогичная картина, однако судя по рисунку 5.13 это не совсем так, видно, что при максимальном за период наблюдения количестве осадков в 2020 году, накопленный запас  $^7\text{Be}$  во мхах в этом году ниже, чем в 2019 г. Чем автор объясняет такую динамику? И почему для других радионуклидов не наблюдается связи между накопленными запасами и количеством осадков, хотя они все поступают из атмосферы? Для мхов и лишайников южного региона Западной Сибири наблюдается схожая динамика накопленного запаса  $^7\text{Be}$  – здесь наблюдается более выраженная зависимость накопленного запаса  $^7\text{Be}$  от количества выпавших осадков во мхах. Далее автор переходит к обсуждению региональных значений содержания  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^7\text{Be}$  и  $^{137}\text{Cs}$  во мхах и лишайниках Арктического и южного регионов. Из данных, представленных на рисунках 5.16 – 5.19 видно, что активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^7\text{Be}$  в лишайниках Арктического региона выше, чем в лишайниках южного, такая же картина характерная и для накопленных запасов. Активности и накопленные запасы  $^{210}\text{Pb}$  в лишайниках южного региона наоборот заметно выше, чем в Арктическом регионе, что связывается автором с более высокой пылевой составляющей атмосферных выпадений южного региона. Глава 5 завершается краткими выводами, выделенными курсивом. Очевидно материалы данной главы служат доказательствами второго защищаемого положений, формулировку которого хорошо бы в конце главы повторить, что не обращаться к введению, где оно показано в единственном экземпляре. Тем не менее, представленные материалы позволяют уверенно говорить о том, что **второе защищаемое положение полностью доказано.**

В главе 6 приведена оценка степени воздействия радиоактивных полей на лишайники и мхи, произрастающие в Арктическом и южном регионах Западной Сибири. Глава начинается с литературного обзора по источникам ионизирующих излучений,

воздействующих на живые организмы (раздел 6.1) и обзора методических вопросов по расчету доз ионизирующих излучений (раздел 6.2). Вероятно, эти обзорные разделы следовало бы поместить в соответствующие главы в начале работы, чтобы в главе 6 сразу перейти к результатам и их обсуждению. Далее в разделе 6.3 представлены результаты исследований автора, посвященные характеристике источников при внутреннем и внешнем облучении лишайников и мхов. Перед тем, как пойти дальше, необходимо подчеркнуть один важный момент – общеизвестным является то, что мхи и лишайники являются одними из лидеров среди живых организмов по степени приспособляемости и устойчивости к самым агрессивным и экстремальным условиям окружающей среды, поэтому мхи и лишайники заселили всю планету, даже арктические пустыни. Согласно многочисленным исследованиям, мхи и лишайники проявляют высокую степень толерантности к действию даже крайне высоких доз ионизирующего излучения. За эту их сверхустойчивость к радиации они рассматриваются в качестве перспективных организмов для колонизации других планет, в частности Марса. Поэтому изложенный автором в данной главе материал является действительно хорошим упражнением в области радиобиологии (расчет доз облучения), однако, вероятно, имеет мало практической пользы. А вот попытка посчитать дозовые нагрузки при внутреннем облучении животных, которые этими мхами и лишайниками питаются, была очень интересной задачей и стала бы настоящим украшением главы 6 (ведь животные куда менее устойчивы к радиации, чем мхи и лишайники!). Тем не менее, изложенный автором материал в главе 6, получился хорошим и очень интересным и заслуживает определенного внимания. В начале раздела 6.3 автор дает характеристику источников при внутреннем облучении лишайников и мхов. В качестве таких источников, автор предлагает рассматривать радионуклиды, содержащиеся в самих мхах и лишайниках, что абсолютно логично. Далее приводится список радионуклидов и их активностей во мхах и лишайниках, которые учитывались, список этот весьма внушительный. Такой же список радионуклидов с активностями приведен и для подстилающих почв. Возникает вопрос, откуда взяты недостающие данные по некоторым из перечисленных радионуклидов, которые автором не определялись и в цитируемых работах (Страховенко и др., 2012; Malikova et al., 2019; Мезина, Мельгунов, 2022) отсутствуют? В первую очередь это относится к радионуклидам в цепочках распада: радий, полоний, уран. Предполагать, что эти радионуклиды во мхах и лишайниках, а тем более в почвах находятся в равновесии со своими дочерними продуктами распада будет не совсем корректно. Так, для почв в таблице 6.5 показано, что  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  имеют одинаковую активность, то есть находятся в равновесии. Маловероятно для пары  $^{210}\text{Pb}$ - $^{210}\text{Po}$  ожидать наличие равновесия в мохово-лишайниковом покрове и верхнем слое почв. Согласно работе (Бахур и др., 2009, автором эта работа цитируется) в верхнем органогенном горизонте почв активность  $^{210}\text{Po}$  существенно меньше, чем активность  $^{210}\text{Pb}$  ( $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb} \sim 0,25-0,5$ ). В атмосферных осадках  $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$  отношение составляет от 0,1-0,2, а в дождевой воде 0,3, что говорит о разных механизмах поступления этих радионуклидов ( $^{210}\text{Pb}$  в основном с мокрыми выпадениями, а  $^{210}\text{Po}$  с «сухими»). Можно предположить, что и для мхов и лишайников, особенно для их верхних частей будет наблюдаться отклонение  $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$  в сторону увеличения активности  $^{210}\text{Pb}$ , как это наблюдается в верхних горизонтах почв. Но для того, чтобы это доказать, нужно измерить активность  $^{210}\text{Po}$ . Также трудно говорить о наличии равновесия и в паре  $^{210}\text{Pb}$ - $^{226}\text{Ra}$  как для самих мхов и лишайников, так и для верхних горизонтов почв.  $^{210}\text{Pb}$  поступает из атмосферы

всегда с избыточной активностью по сравнению с  $^{210}\text{Pb}$ , который образуется из  $^{226}\text{Ra}$  уже на земле (в почвах). Поэтому активность  $^{210}\text{Pb}$  в верхних органогенных горизонтах почв выше, чем в нижних, поскольку в верхних горизонтах это неравновесный  $^{210}\text{Pb}$  из атмосферы. Автор и сам это показывает в разделе 5.3, когда активность  $^{210}\text{Pb}$  в верхней части лишайников Арктического региона практически такая же, как в верхних горизонтах почв (лесная подстилка): 498 Бк/кг в верхней части лишайника и 493 Бк/кг в «лесной подстилке». Но при этом при расчете доз, автор принимает активность  $^{210}\text{Pb}$  для верхнего горизонта почв Арктического региона (таблица 6.5) равную 21 Бк/кг. Это фактически активность  $^{226}\text{Ra}$ , которую автор измерил методом гамма-спектрометрии, активность  $^{210}\text{Pb}$  определено должна быть значительно выше. Ну и когда этим же методом измеряется содержание  $^{238}\text{U}$  по активности  $^{226}\text{Ra}$ , то тут тоже сложно говорить о том, что если активность  $^{226}\text{Ra}$  21 Бк/кг, то и активность урана будет такая же. Обычно урана меньше. Интересными выглядят данные по активности  $^{90}\text{Sr}$  в почвах, принятые автором для расчета дозовых нагрузок. Надо сказать, что это очень высокие активности  $^{90}\text{Sr}$ , поскольку это не средние значения для почв, а максимальные, которые приведены в работе (Страховенко и др., 2012), к тому же это активности не на текущий момент. Поэтому, вероятно, что полученные автором цифры не в полной мере отражают реальность. Тем не менее, автором получены очень ценные данные, которые можно рассматривать как базовые при проведении дальнейших радиоэкологических исследований в различных регионах Западной Сибири. Завершают главу 6 краткие выводы, подводящие к формулировке третьего защищаемого положения. На основании изложенных данных можно считать, что **третье защищаемое положение полностью доказано.**

В **Заключении** приведены основные выводы, сделанные автором диссертационной работы. Изложение текста в Заключении хорошо резюмирует все основные авторские результаты.

**Научная новизна** диссертационного исследования заключается в следующем:

- Впервые оценен вклад снеговых выпадений как одного из основных источников поступления радионуклидов в общую радиоактивность мхов и лишайников на территориях Арктического и южного регионов Западной Сибири;
- Впервые создана база данных по содержаниям  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в мохово-лишайниковом покрове наземных экосистем на территориях Арктического и южного регионов Западной Сибири;
- Впервые дана сравнительная характеристика пространственного распределения  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в мохово-лишайниковом покрове наземных экосистем Арктического и южного регионов Западной Сибири;
- Впервые для территории Арктического и южного регионов Западной Сибири проведена оценка степени воздействия ионизирующих излучений на мхи и лишайники в естественных условиях их обитания.

**Практическую ценность** имеют следующие результаты исследования:

- Полученные результаты исследований могут стать основой для проведения в дальнейшем фундаментальных (глобальный и региональный атмосферный перенос вещества) и прикладных (экогеохимической направленности) исследований;
- Выявление реальных фоновых содержаний радионуклидов в компонентах окружающей среды является первым шагом к обнаружению площадей с их аномальными концентрациями естественной и техногенной природы. Это важно для

решения проблем рационального природопользования, особенно в районах проживания коренных народов Сибири;

- Представлен объемный материал о современных уровнях содержания  ${}^7\text{Be}$ ,  ${}^{210}\text{Pb}$  и  ${}^{137}\text{Cs}$  в лишайниках и мхах, который может служить базовой основой фоновых значений для проведения длительных мониторинговых и прогнозных исследований.

**Обоснованность результатов** исследования в целом подтверждается широкой представленностью материалов на специализированных научных конференциях различного уровня, что свидетельствует о хорошей апробации и высоком уровне обсуждения результатов среди экспертного сообщества. Результаты также хорошо представлены в открытой печати в высокорейтинговых тематических научных журналах из международных баз Web of Science и Scopus, таких как Applied Geochemistry, Science of The Total Environment, Environmental Science and Pollution Research, входящих в перечень ВАК. Ряд журналов, в которых опубликованы работы автора диссертации входят в первый квартиль по Web of Science и Scopus, что подтверждает высокий научный уровень результатов, их высочайшую актуальность и востребованность среди международного научного сообщества.

**Достоверность результатов** исследования обеспечивается значительным количеством изученных объектов и образцов, широким географическим охватом территории исследования, современными методами отбора и подготовки проб, применением комплекса высокочувствительных аналитических методов, всесторонней интерпретацией полученных материалов с использованием современных методов обработки и визуализации данных, тщательной и внимательной работой с литературным материалом по теме исследований, а также апробацией результатов на российских и зарубежных конференциях и публикациями в ведущих международных изданиях

**Автореферат** содержит все необходимые сведения о диссертационном исследовании, обоснование всех защищаемых положений, список работ соискателя по теме диссертационного исследования и полностью соответствует основному содержанию диссертации.

**Содержание диссертации** соответствует области исследования паспорта специальности 1.6.4. – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поиска полезных ископаемых» (геолого-минералогические науки).

Основные замечания к работе, представленные выше в тексте отзыва (по ходу рассмотрения диссертации, от первой главы к последней) нисколько не снижают высочайшую научную ценность результатов, полученных Мезиной К.А. в ходе своего диссертационного исследования. Наоборот, высказанные замечания подчеркивают сложность и многосторонность предмета исследования – радиоактивности наземных экосистем. Они же подсвечивают колоссальный потенциал работы в части дальнейшего изучения выявленных соискателем закономерностей в распределении радионуклидов в наземных экосистемах Западной Сибири. В этих высказанных замечаниях, может быть иногда субъективных, скрывается лишь желание рецензента получить ответы на «все вопросы бытия», хотя конечно, в глубине души рецензент понимает, что большая часть из этих вопросов выходит далеко за рамки исследований диссертанта. Уверен, что некоторые из этих вопросов найдут свое отражение в будущих исследованиях соискателя, в том числе в его докторской диссертации. Можно заключить, что диссертация Мезиной К.А. является законченной научно-квалификационной работой, в основу которой положен огромный фактический материал собранный и проанализированный ей лично.

Диссертация Мезиной К.А. является значимым вкладом в развитие геохимии радиоактивных элементов – вкладом в понимание особенностей распределения и миграции радиоактивных элементов в компонентах природной среды как основы для корректной оценки и прогнозирования современного уровня радиоактивности наземных экосистем. Защищаемые положения корректно сформулированы и полностью доказаны приведенным фактическим материалом. В целом диссертация производит самое положительное впечатление.

Таким образом, диссертационная работа Мезиной Ксении Александровны на тему «Радиоактивность наземных экосистем на примере мохового и лишайникового покровов Арктического и южного регионов Западной Сибири» соответствует требованиям ВАК п. 9-14 раздела II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 16.10.2024), а ее автор достойна присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

### **Яковлев Евгений Юрьевич**

кандидат геолого-минералогических наук  
Специальность 25.00.11 – Геология, поиски и разведка  
твердых полезных ископаемых, минерагения  
Ведущий научный сотрудник, заведующий  
лабораторией экологической радиологии Федерального  
исследовательского центра комплексного изучения  
Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского  
отделения Российской академии наук  
Почтовый адрес: 163000 г. Архангельск, Никольский  
проспект, 20  
Тел.: +7 (8182) 287636, +7 (931) 4014108  
E-mail: [evgeny.yakovlev@fciarctic.ru](mailto:evgeny.yakovlev@fciarctic.ru)

Я, Яковлев Евгений Юрьевич, автор отзыва, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

14.01.2025

Е.Ю. Яковлев

Подпись Яковлева Е.Ю. заверяю:

