

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу ЯКОВЛЕВА Е.Ю.
«ИЗОТОПНО-РАДИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
ОБСТАНОВКИ ЗАПАДНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ»,
представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по
специальности 1.6.21. – Геоэкология

Актуальность исследований Е.Ю. Яковлева определяется необходимостью обеспечения радиационно-экологической безопасности в Арктической зоне Российской Федерации, природную среду которой отличает высокая уязвимость на воздействие внешних факторов и где в настоящее время выявлены признаки деградации многолетней мерзлоты в условиях общего потепления климата и усиления хозяйственной деятельности. Западный сектор Российской Арктики с середины прошлого века подвергался различным видам радиоактивного загрязнения, имеется ряд унаследованных радиоэкологических проблем, объединяющих эту территорию, включая последствия ядерных испытаний на Новоземельском полигоне.

Диссертант Е.Ю. Яковлев ставит целью исследования (далее прямое цитирование): *«Целью исследования является разработка подходов, позволяющих использовать изотопно-радиогеохимические методы при исследовании закономерностей протекания природных и техногенных процессов и прогнозирования изменения экосистем на основе оценки радиационно-экологических параметров компонентов окружающей среды Западного сектора Российской Арктики, обусловленных естественными факторами и антропогенной деятельностью»*

По моему мнению, цель сформулирована слишком сложно, трудно сразу понять, что исследование, проведенное диссертантом Е.Ю. Яковлевым, направлено именно на разработку научно-методических подходов радиогеохимического изучения окружающей среды (или экосистем?) Западного сектора Российской Арктики.

Есть небольшое замечание редакционного характера: вместо *«при исследовании... протекания... процессов»* достаточно *«при исследовании... процессов»*, поскольку процессы - на то и процессы, что они «протекают», тут я вижу тавтологию. Хотелось бы также уточнения после слов «...природных и техногенных процессов...»: где (в какой природной системе, объекте) происходят эти процессы.

Для достижения цели диссертант решал 5 задач, где 1-ая задача направлена на всермерное радиоэкогеохимическое изучение радиоактивной составляющей компонентов «ландшафтов» Западного сектора Российской Арктики; 2-ая задача сосредоточена на выявлении источников радионуклидов, механизмов миграции и накопления радионуклидов «в объектах природной среды» Западного сектора Российской Арктики.

Таким образом, в цели и задачах диссертационной работы в качестве объекта исследований обозначены: «окружающая среда», «экосистемы», «ландшафты» и «объекты природной среды». Хотелось бы получить пояснение, чем продиктовано использование этих 4-х терминов и что было объектом изучения. Что имеет ввиду соискатель под термином «объекты природной среды»? Может быть, «компоненты природной среды»?

Научная новизна работы заключается в разработке методических подходов геоэкологического изучения районов распространения торфяных отложений и кимберлитовых тел с разной степенью выветрелости. В ходе выполнения работы впервые получены новые данные по хронологии и скорости накопления торфа методом ^{210}Pb -датирования, впервые установлены закономерности концентрирования радионуклидов в основных типах пород, в донных отложениях алмазодобывающего района Архангельской алмазонасной провинции, проведено моделирование вертикального переноса свободного радона в массиве пород кимберлитового поля.

Диссертационная работа имеет важное **практическое значение**, которое состоит в возможности использования разработанных диссертантом методических подходов для организации и проведения радиационно-экологического мониторинга в условиях Арктики. Материалы исследований используются ПАО «Севералмаз» Архангельской области при оценке радиационного качества питьевых подземных вод на водозаборе «Южный», также в образовательном процессе в ФИЦКИА УрО РАН при преподавании курса «Техногенез и формирование природно-техногенных ландшафтов».

Диссертация состоит из введения, 7-ми глав и заключения, изложенных на 311 страницах, иллюстрированных 77 рисунками и 8 таблицами. Список литературы содержит 708 наименований.

Глава 1 посвящена обзору радиоактивного загрязнения природной среды Западного сектора Российской Арктики, хотя в автореферате говорится, что в главе 1 проведен обзор состояния проблемы исследования (изученности) региона (то есть здесь я вижу некоторое расхождение). Содержательная часть главы 1 представлена не в виде обсуждения истории развития исследований в регионе (хронологической последовательности исследований), как следовало бы ожидать при анализе изученности региона, а структурирована в соответствии с источниками загрязнения: - с глобальными выпадениями из атмосферы и ядерными испытаниями на архипелаге Новая Земля (раздел 1.1.1.); - с ядерными взрывами в мирных целях (раздел 1.1.2); с атмосферными выпадениями в результате аварии на Чернобыльской АЭС (раздел 1.1.3); с переносом с морскими течениями жидких радиоактивных отходов от западноевропейских радиохимических заводов (раздел 1.1.4); - со сбросом радиоактивных отходов в акваториях Баренцева и Карского морей (раздел 1.1.5); - с влиянием объектов инфраструктуры атомного флота и атомной электроэнергетики (раздел 1.1.6), а также с источниками естественной радиоактивности, обусловленными горнодобывающей деятельностью. Литературный обзор проведен с использованием внушительного количества опубликованных работ (193), в том числе большого числа иностранной литературы, исторических документов МАГАТЭ и других международных организаций, касающихся проблем глобальных выпадений радионуклидов и других последствий ядерных испытаний, что делает оценку радиоактивного загрязнения региона всесторонней и максимально объективной. Но надо отметить, что некоторые работы (19 из 193) не включены в список литературы (Алексахин и др., 2001 (с. 18); Василенко, Василенко, 2003 (с. 17); Ващенко и др., 2017 (с. 35); Кичигин, Таскаев, 2004 (с. 16, 52, 92); Конторович, 1997 (с. 61); Коряковский, Атаков, 2009 (с. 16); Кузьменкова и др., 2011 (с. 57); Омельчук, 2020 (с. 23); Росбалт, 2011 (с. 32); Росэнергоатом, 2024 (с. 45); Панченко и др., 2021 (с. 16, 18, 19, 46); Третьякова, Корнус, 2017 (с. 52); Яблоков, 2009 (с. 17); Chareyron et al., 2014 (с. 50); Hakanson, 1992 (с. 34); Rekasewicz, 2006 (с. 20); Report..., 1991 (с. 23); United Nations, 1963 (с. 18); US EPA, 2024 (с. 47)).

Небольшой вопрос: почему диссертант не ограничил обзор по географическому принципу – регионом изучения и сопредельной территорией, а включил в анализ радиоактивное загрязнение территории Китая (с. 48, 51), Забайкальского края РФ (с. 48), Таджикистана (с. 50), Кыргызстана (с. 50), Португалии, Франции (с. 50), штата Луизиана (США) (с. 53), Египта (с. 53), Ганы (с. 55), Малайзии (с. 55), Армении (с. 55), Австралии (с. 56) и т.д. По какому принципу выбраны территории этих стран, какое отношение они имеют для оценки радиоактивного загрязнения природной среды Западного сектора Российской Арктики?

Обсуждение загрязнения природной среды при добыче урановых руд (раздел 1.2.1.), по-видимому, излишне, поскольку добыча урановых руд в регионе и сопредельной территории не проводится, что отмечено самим диссертантом, (с. 51-52), и вряд ли ее следует ожидать ввиду отсутствия месторождений.

Еще небольшой вопрос: прошу обосновать включение раздела 1.2.4 «Возможности использования радионуклидов для поисков месторождений полезных ископаемых» в

главу 1. По моему мнению, тематика раздела другая, и раздел мог бы быть включен, например, в главу «Методика исследований».

На фоне обзора большого объема исследований, отраженных в публикациях, логично было ожидать общего вывода автора о состоянии радиоактивного загрязнения природной среды региона с выделением оставшихся «белых пятен» с увязкой с собственными научными изысканиями, однако подобный вывод в главе 1 мной не обнаружен.

Глава 2, посвященная описанию природных условий Западного сектора Российской Арктики, даёт полное представление о географическом положении (раздел 2.1.), об особенностях геологической среды (раздел 2.2), о геокриологических (раздел 2.3) и ландшафтно-климатических (раздел 2.4) условиях, о почвах и растительности региона (2.5). Глава 2 весьма информативна и дополнена разделом 2.6, посвященным описанию характера антропогенной нагрузки, хотя, на мой взгляд, это выходит за рамки темы главы.

В Главе 3 Е.Ю. Яковлев приводит методики исследований, которые включают методы регистрации параметров ионизирующих излучений: гамма-спектрометрический (раздел 3.1.1), альфа-бета-радиометрический для определения ^{210}Pb с радиохимической подготовкой (раздел 3.1.2), бета-радиометрический для определения ^{90}Sr с радиохимической подготовкой (раздел 3.1.3), альфа-спектрометрический для определения изотопов Pu (раздел 3.1.4) и изотопов U (раздел 3.1.5) с радиохимической подготовкой. Отдельно рассмотрен альфа-бета-радиометрический метод определения суммарных удельных активностей в разделе 3.1.6), радонометрический (эманационный) метод – в разделе 3.1.7. В разделе 3.1.8. описаны методы оценки коэффициента эманации и уровня (скорости) продуцирования радона, а в разделе 3.1.9. диссертант представляет способ обработки результатов измерений радиационных параметров и неопределенность измерений, далее в разделе 3.1.10 показывает, как проводился контроль качества измерений.

В разделе 3.2 приведено описание физико-химических методов: определение влажности, содержания водорастворимых солей, активной и обменной кислотности в пробах (раздел 3.2.1), определения зольности, органического вещества и массовой доли карбонатов (раздел 3.2.2), химического состава проб, описание схемы экспериментального изучения подвижности ^{210}Pb (раздел 3.2.4), накопления ^{210}Pb в торфе в зависимости от pH среды (раздел 3.2.5).

В главе 3 не приведено описание способов отбора проб, особенно это интересно в части отбора проб донных отложений в Баренцевом море, каким инструментарием пользовались, на какую глубину отбирали, как разделяли керн донных отложений, готовили пробы к транспортировке. Также интересно, по какому принципу выбраны места отбора торфяника, так сказать, ключевые участки, на какую глубину закладывали шурфы, если это были шурфы, каким инструментарием пользовались при этом. Отсутствует сводная таблица, отражающая количество проб разных компонентов природной среды, их распределения по видам анализов. Согласно рис. 4.6, 4.9-4.13 и 5.4 коллекция изученных проб в диссертационной работе исчисляется примерно 422-мя пробами. В разделе контроля качества измерений не хватает наглядности, отсутствуют какие-либо рисунки или таблицы по результатам контроля качества измерений, количества контрольных анализов, диаграммы воспроизводимости и др. В автореферате (с. 9) указано, что в главе 3 включено описание методов картографической и статистической обработки, но в самой диссертации они не обнаружены, по-видимому, пропущены. Все аналитические работы выполнены в аккредитованных лабораториях: экологической радиологии ФИЦКИА УрО РАН № RA.RU.21HA54, радиометрической лаборатории АО «Центр судоремонта «Звездочка» № RA.RU.21AD95 и ЦКП «Арктика» САФУ № RU.0001.21AL65, что свидетельствует о высокой достоверности полученных аналитических данных.

Первое защищаемое положение основывается на результатах изучения содержания радионуклидов в 200-х пробах верхнего слоя донных отложений Баренцева

моря, в 117-ти пробах торфа, отобранных на 6-ти ключевых участках (разрезах), расположенных на лесотундровых и северотаежных ландшафтах Архангельской, Мурманской области и Ненецкого автономного округа.

Выявлено, что накопление естественных радионуклидов в верхнем слое донных осадков в большей степени связано с глубиной моря и контролируется содержанием органического вещества и карбонатов. В открытых частях моря в глубоких бассейнах накопление ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K связано с тонкими фракциями донных осадков алевролитовой и пелитовой размерности. Распределение активности ^{90}Sr и ^{137}Cs схоже между собой, их максимальные активности наблюдаются в заливах Кольского побережья: Печенгском, Матовском, Ура и Кольском. В результате факторного анализа выявлено, что активности радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{210}Pb торфах в основном контролируются их зольностью, содержанием карбонатов и водорастворимых солей, что свидетельствует об их поступлении с аэрозольными выпадениями.

Если максимальные активности ^{137}Cs , ^{90}Sr обнаружены в поверхностном слое донных отложений заливов Кольского полуострова (с.125), как это согласуется с выводом диссертанта о поступлении ^{137}Cs , ^{90}Sr в донные отложения Баренцева моря с глобальными аэрозольными выпадениями (с. 126)? Ведь изотопное отношение $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$, в среднем равное 0.51, может сложиться в открытой системе донных отложений в силу разных факторов, а не только могло быть унаследованным из глобальных выпадений.

В разделе методики (с. 100) сказано, что активность радионуклида ^{232}Th определяли по активности ^{212}Pb и ^{228}Ac . Однако по активности короткоживущих изотопов ^{212}Pb и ^{228}Ac с полной достоверностью можно определить активность ^{228}Ra с $T_{1/2} = 5.75$ лет. Поскольку верхний слой донных отложений моря невозможно представить в виде закрытой системы, так как это – открытая геохимическая система «вода-порода», а радий – элемент II группы Периодической таблицы и бесспорно обладает всеми свойствами щелочноземельных металлов и может быть подвижным, уходить в раствор (морскую воду), то мы не можем априори утверждать о радиоактивном равновесии ^{232}Th и ^{228}Ra в донных отложениях (если только пробы не лежали 37 лет в лаборатории), и потому считаю не совсем корректным определение активности ^{232}Th по активности ^{228}Ra . Может быть, проводили контрольные измерения содержания Th другими методами, например, масс-спектрометрическим или рентгено-флюоресцентным методом?

И еще небольшой вопрос – какой мощности керн донных отложений отбирали, и как, по какому критерию диссертант выделял верхний слой донных отложений из отобранного материала, т.е. что из себя представляет верхний слой, хотелось бы пояснения: информация об этом в диссертации (ни в главе о методиках, ни в этой главе 4) не обнаружена.

Первое положение в целом доказано достаточно представительным фактическим материалом, комплексностью исследования, корректностью статистической обработки.

Во *втором защищаемом положении* содержится утверждение о том, что использование изотопно-радиогеохимических методов позволяет выполнить количественную оценку воздействия горнотехнической деятельности на объекты окружающей среды, связанные с трансформацией радионуклидного и химического состава водных экосистем Западного сектора Российской Арктики.

Согласно рис. 5.4. (с. 169) было отобрано всего 48 проб горных пород из карьеров кимберлитовых трубок Архангельская и Карпинского-1 и 57 проб речных отложений, в которых определено содержание ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs в разных видах горных пород и изучено изменение содержания радионуклидов в донных отложениях вниз по течению р. Золотица. Выявлено, что активности ^{137}Cs , ^{226}Ra и ^{232}Th в речных отложениях повышаются у устьев притоков реки, а максимальные активности установлены в устье самой реки Золотица, источниками которых могут быть отвалы карьеров и минерализованные дренажные воды. Источником ^{137}Cs может служить болотный массив,

поскольку органические комплексы торфяных залежей верхового типа фиксируют техногенные радионуклиды глобальных выпадений.

Второе защищаемое положение доказано достаточно представительным фактическим материалом, комплексностью исследования, корректностью статистической обработки. Примечательным является дополнение фактического материала данными содержания металлов в горных породах и донных отложениях, которые подкрепили выводы, сделанные на основе изучения активности радионуклидов.

Только непонятно, почему не приведены данные по изучению поверхностных вод: согласно рис. 5.4. диссертантом были отобраны пробы речной воды в 9-ти точках. Данные миграции радионуклидов с речной водой, дренажными водами карьеров обогатили бы доказательную базу второго защищаемого положения.

Замечание: данные в таблице 5.1 (с. 171) стали бы более информативны при демонстрации диапазона активности радионуклидов (максимальных и минимальных значений), кроме приведенных средних значений, с указанием количества проанализированных проб.

Третье защищаемое положение посвящено новому подходу использования изотопно-радиогеохимических методов при геоэкологической оценке районов многолетней мерзлоты.

При таянии мерзлых пород усиливается эмиссия газов, запечатанных в породах, в том числе радиоактивного газа радона, и рост плотности потока радона может свидетельствовать о степени деградации многолетней мерзлоты. Диссертантом также показано, что помимо возрастания активности радона и продуктов его распада, таяние мерзлых пород может привести к увеличению поступления урана в поверхностные и подземные воды региона и изменить $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ отношение в природных водах.

Третье положение доказано достаточно представительным фактическим материалом, обоснованностью суждения с опорой на результаты других исследователей, с получением новых интересных экспериментальных радиогеохимических данных по изучению изотопов ^{238}U в различных компонентах природной среды для доказательства защищаемого положения.

Четвертое защищаемое положение отражает результаты изучения естественных радиоактивных элементов как индикаторов рудовмещающих структур. Получены новые данные о распределении изотопов ^{234}U и ^{238}U в кимберлитах и их выветрелых разностях, также во вмещающих осадочных породах. Хотелось бы отметить высокую информативность таблицы 7.1. Кроме изотопов урана, изучено распределение объемной активности радона ^{222}Rn , выявлены контрастные радоновые аномалии над контактными зонами кимберлитовых тел. Результаты моделирования переноса радона в массиве кимберлитового поля подкрепили полученные экспериментальные радиогеохимические данные.

Четвертое защищаемое положение доказано представительным фактическим материалом, комплексностью исследования, корректностью статистической обработки. К данному разделу замечаний нет.

В заключении диссертант резюмирует всю проведенную работу и подытоживает основные результаты исследования. Разработанные и научно обоснованные Е.Ю. Яковлевым подходы к геоэкологической оценке обстановки Западного сектора Российской Арктики с использованием изотопно-геохимических методов является новым словом в изучении природной среды Арктики. Автор виртуозно использует разные признаки, как прямые, так и косвенные для обоснования защищаемых положений

К редакционным замечаниям относятся отсутствие масштабной линейки у большинства схем и карт на рис. 2.2, 2.3, 2.4, слишком сложное построение ряда предложений.

Достоверность сделанных в диссертации выводов определяется большим фактическим материалом, современными аналитическими методами, примененными в

работе, квалификацией автора при обработке аналитических данных, тщательностью проводимых исследований и грамотным анализом литературных данных. Диссертация производит впечатление интересной научной работы, значимой как в фундаментальном плане, так и имеющей практическое применение.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Работа апробирована на ряде международных, всероссийских и региональных конференциях. По теме диссертации опубликовано 90 работ, из них 34 статьи в российских изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 5 в коллективных монографиях. Это более, чем достаточно для подтверждения квалификации, т.е. результаты работы достаточно широко освещены и апробированы.

Можно сделать вывод, что Евгением Юрьевичем проведена большая работа по разработке новых подходов к оценке геоэкологической обстановки с применением изотопно-радиогеохимических методов, которые имеют большое значение для мониторинга природной среды Российской Арктики. Сделанные к диссертации замечания не влияют на полноту приведённых доказательств защищаемых положений.

Считаю, что диссертационная работа «Изотопно-радиогеохимические методы оценки геоэкологической обстановки Западного сектора Российской Арктики» полностью соответствует паспорту специальности 1.6.21 – Геоэкология (геолого-минералогические науки) и всем требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Яковлев Евгений Юрьевич достоин присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.21 – Геоэкология (геолого-минералогические науки).

Старший научный сотрудник

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева

Сибирского отделения Российской академии наук

доктор геол.-мин. наук

Артамонова Светлана Юрьевна

10.09.2024 г.

630090, Новосибирск. Проспект академика Коптюга, 3, ИГМ СО РАН

e-mail: artam@igm.nsc.ru

Тел.: 913 481 13 27

Я, Артамонова Светлана Юрьевна, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись Артамоновой С.Ю. заверяю



С.Ю. Артамонова
10.09.2024