

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора геолого-минералогических наук, профессора РАН, Петра Сергеевича Микляева на диссертационную работу Андрея Викторовича Пучкова «Радионуклиды в экосистемах тундры: источники, уровни загрязнения, антропогенные механизмы трансформации радиационного фона (на примере ключевых участков Ненецкого автономного округа)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.21 – Геоэкология.

Соответствие работы намеченной специальности. Представленная диссертация соответствует специальности 1.6.21 – Геоэкология (геолого-минералогические науки).

Актуальность работы. Диссертационное исследование А.В. Пучкова посвящено исследованию закономерностей формирования техногенно-измененного радиационного фона в экосистемах тундры и оценке уровней радиоактивного загрязнения территорий Европейского севера России на примере ключевых участков, расположенных в Ненецком автономном округе (НАО). Исследуемая территория характеризуется с одной стороны распространением особо уязвимых тундровых ландшафтов, широким распространением многолетнемерзлых пород, а с другой стороны, наличием радиационно-опасных объектов, которые потенциально могут оказывать негативное влияние на окружающую среду. Вместе с тем, суровые природно-климатические условия, а также тот факт, что большая часть Ненецкого автономного округа до сих пор остается труднодоступной в условиях отсутствия комплексного транспортного сообщения, стали причинами слабой радиоэкологической изученности региона. Перечисленное выше делает выполненные исследования крайне важными и актуальными.

Научная новизна заключается в получении новых данных о характере распределения естественных и техногенных радионуклидов в компонентах природной среды тундровых территорий Ненецкого автономного округа. Впервые определены изотопные отношения естественных и техногенных радионуклидов в пробах окружающей среды данных территорий, позволившие в ряде случаев сделать выводы о возможных источниках загрязнения. В ходе исследований были установлены новые закономерности вертикальной миграции радона, обусловленные изменением мерзлотных условий. А также получены данные об изменении естественного радиационного фона тундровых территорий за счет дополнительного поступления изотопов радия, тория и калия в объекты окружающей среды в ходе нефтедобычи.

Практическая значимость работы определяется оценкой соответствия основных продуктов питания (рыба, мясо оленя) требованиям законодательства Российской Федерации в области продовольственной безопасности (допустимого содержания радионуклидов), а также корректировкой данных по плотности загрязнения радионуклидами Cs-137 и Sr-90 территории Ненецкого автономного округа. Результаты исследований могут быть использованы при разработке и корректировке нормативно-правовой базы по обращению с отходами нефтегазодобывающей отрасли, содержащими повышенные концентрации радионуклидов естественного происхождения.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и практических рекомендаций определяется использованием обширных фактических и картографических материалов, значительной представительностью полевых исследований (более 50 проб почвы, 199 проб донных осадков, 40 проб воды, 11 проб нефтешлама, 91 кг биологических проб), применением высокоточной аппаратуры радиационного контроля (радиометры, дозиметры, спектрометрические системы), ежегодно проходящей метрологическую поверку, применением современных ГИС-

технологий Q-GIS и Surfer, лицензионных программных пакетов OriginPro и MS Excel. Исследования по теме диссертации были поддержаны грантом Президента РФ, грантами Российского научного фонда, а также грантами Проектного офиса развития Арктики.

В ходе работы была проведена оценка радиационно-экологических параметров тундровых территорий Ненецкого автономного округа, выявлены повышенные уровни радиоактивного загрязнения в результате техногенного вмешательства и определена степени воздействия ионизирующего излучения на человека.

Диссертация состоит из Введения, пяти глав, Заключения, списка литературы, содержащего 244 источника, и трех Приложений. Работа изложена на 118 страницах, содержит 17 таблиц и проиллюстрирована 52 рисунками.

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертации, поставлена цель и определены задачи работы, представлены научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы основные защищаемые положения.

В **первой главе** приводятся общие сведения о радиоактивности окружающей среды и дает характеристику района исследований. Достаточно сжато даются сведения о природных и искусственных радионуклидах, внешнем и внутреннем облучении человека и основах государственной политики РФ в области обеспечения радиационной безопасности населения. Описываются физико-географические условия НАО, характеризуются основные изученные реки округа, в общем виде дается краткое описание экологической обстановки в регионе, а также характеристика потенциальных источников радиационного воздействия.

Во **второй главе** изложены методические аспекты работы, приведена карта-схема расположения ключевых участков, описаны применяющиеся автором методы измерения концентрации радионуклидов в различных

природных средах, а также суммарной альфа- и бета-активности проб, методы расчета некоторых величин, используемых в работе.

Третья глава посвящена результатам исследования поведения техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды Ненецкого автономного округа. Проанализированы результаты аэрогамма-съемки территории округа, проведенной в 1990е годы. По результатам измерений, проведенных автором, проведена оценка содержания цезия-137 в донных отложениях рек Канинской и Большеземельской тундр, описаны результаты исследований закономерностей накопления и миграции цезия-137, стронция-90, америция-241, а также изотопов плутония на одном из ключевых участков в районе р. Несь, оценено содержание радионуклидов в пробах рыбы и мяса северного оленя, а также оценены дозовые нагрузки на местное население за счет потребления рыбы и оленины.

В четвертой главе представлены результаты исследований изменения естественного радиационного фона в условиях деградации многолетнемерзлых пород. Исследования включали оценку формирования радиационных параметров почвенно-растительного покрова в зависимости от изменения мерзлотных условий на примере двух ключевых участков, а также весьма оригинальный, новаторский натурный эксперимент по изучению изменения плотности потока радона с поверхности грунта при оттаивании мерзлоты, проведенный на тестовой площадке, где были имитированы условия оттаивания многолетнемерзлых грунтов, содержащих повышенные концентрации радия.

Пятая глава посвящена проблеме изменения естественного радиационного фона в условиях воздействия нефтегазовой деятельности. В главе приведены результаты измерений содержания естественных радионуклидов (Ra-226, Pb-210, Th-232, Ra-228 и K-40), а также суммарной альфа- и бета-активности в донных осадках рек Колва и Уса и проведен анализ возможных причин формирования повышенных концентраций радия-226. Даны результаты гамма-съемки и оценки радионуклидного состава почв,

загрязненных нефтепродуктами, на участке Харьягинский – Усинск, включая оценку изотопных отношений. Также приводятся результаты оценки содержания естественных радионуклидов в донных осадках устьевой части реки Печора. В конце главы очень кратко описываются результаты оценки возможных дозовых нагрузок на население в результате воздействия излучения от донных осадков и нефтешламов, а также возможность применения этих материалов на основе оценки эффективной удельной активности естественных радионуклидов.

В **Заключении** приведены выводы по результатам исследований. Выводы сформулированы четко и аргументировано, соответствуют поставленным целям и задачам и логично вытекают из материалов диссертации.

В трех приложениях приведены результаты измерений удельной активности искусственных и естественных радионуклидов (плотности загрязнения территории) в пробах донных отложений, почв и нефтешламов.

По теме диссертации опубликовано 24 научные работы, в том числе 5 статей в журналах, входящих в перечень ВАК, 5 научных работ опубликовано в изданиях, индексируемых в базах Web of Science и Scopus. Результаты исследований многократно докладывались автором на научных конференциях.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Целесообразно продолжить работу в части исследований радиационной обстановки в местах нефтедобычи. Это крайне актуальная и недостаточно исследованная проблема. Полученные в работе данные являются ценными для оценки радиационной нагрузки на персонал и население в местах нефтедобычи.

Замечания. Вместе с тем, имеется целый ряд замечаний.

1. В работе нет хотя бы краткой характеристики геологического строения территории, а также характеристики почв и растительности. Также, к

сожалению, в работе нет концептуальной модели территории, позволяющей в общих чертах судить об источниках радиационного воздействия, транспортных и депонирующих средах и путях воздействия радионуклидов на организм человека. Такая модель должна служить основой для выбора объектов и методов, планирования пробоотбора и проведения исследований. В работе не ясно на основе каких принципов выбирались ключевые участки? Чем они отличаются друг от друга? Насколько они репрезентативны? Кроме того, в первой главе следовало бы сказать пару слов о степени изученности территории, описать кратко какие исследования уже были проведены на этой территории ранее.

2. При анализе литературных данных, к сожалению, не используется «Атлас загрязнения Европы цезием-137 после Чернобыльской аварии», являющийся важнейшим источником информации о содержании техногенных радионуклидов в почвах, результатом громадной многолетней работы большого международного высокопрофессионального коллектива.

3. В первой главе, стр. 20, не расставлены приоритеты при описании причин повышенного содержания радионуклидов в местах добычи нефти. Из литературных данных известно, что радиоактивное загрязнение на участках нефтедобычи связано с сопутствующими водами – хлоридно-натриево-кальциевыми рассолами, формирующимися на водо-нефтяном контакте. Хлорид радия обладает крайне высокой растворимостью, поэтому радий, выщелачиваемый водами из вмещающих пород, не выпадает в осадок из таких рассолов. В то же время, благодаря восстановительной обстановке, формирующейся на водо-нефтяном контакте, уран-238 находится в неподвижной четырехвалентной форме, поэтому такие рассолы, крайне обогащены изотопами радия, но не содержат урана. Это очень важный момент, который в работе не освещен. Именно сопутствующие воды являются основным источником радиоактивного загрязнения в местах добычи углеводородов, остальные перечисленные в главе источники, как-то обогащение углеводородов радионуклидами из глинистых сланцев с высоким

естественным содержанием урана или диффузия радона из глубинных пород в нефтяные пласты, если вообще имеют место, то, по крайней мере, играют резко подчиненную роль.

4. Глава 2, в разделе 2.1 «Гамма-спектрометрический метод определения активностей гамма-излучающих радионуклидов» указано, что активность ^{232}Th и ^{228}Ra определялась гамма-спектрометрическим методом. Указано также, что активность ^{228}Ra определялась по его дочернему гамма-излучающему радионуклиду ^{228}Ac , а активность ^{232}Th по его гамма-излучающим ДПР – ^{228}Ac , ^{212}Pb и ^{208}Tl . Однако, это ошибка, т.к. все гамма-излучающие радионуклиды, по которым проводились определения, и ^{228}Ac , ^{212}Pb , и ^{208}Tl , являются дочерними продуктами распада ^{228}Ra , и все они, не важно вместе или по отдельности, характеризуют только удельную активность ^{228}Ra . Когда говорят, что ^{232}Th определен по его ДПР, включая ^{228}Ac , ^{212}Pb и ^{208}Tl , имеют ввиду, что торий-232 находится в состоянии радиоактивного равновесия с ^{228}Ra и со всеми остальными продуктами распада. В большинстве природных сред такое равновесие действительно имеет место в связи с относительно коротким периодом полураспада радия-228 и всех остальных членов ряда. Но иногда равновесие бывает и нарушено, тогда для определения истинной активности тория-232 необходимо применять другие методы измерений, например, альфа-спектрометрию с радиохимической подготовкой или ICP MS. Только в этом случае можно было бы говорить, что в работе отдельно определялось содержание тория-232 и радия-228. В данной же работе отдельного определения этих радионуклидов проведено не было, и активности ^{232}Th и ^{228}Ra , приведенные в таблице 5.4 и Приложении Б, по сути одно и то же. Кстати, хорошее совпадение этих значений, полученное в работе, говорит о том, что аппаратура хорошо откалибрована и работает стабильно.

5. В главе 3, раздел 3.1 «Результаты аэрогаммасъемки территории Ненецкого автономного округа в период с 1990 по 1992 гг» было бы логичнее перенести в первую главу, добавив анализ также и других имеющихся литературных данных по исследуемому региону.

6. На стр. 30 указано, что содержание урана в почвах Ненецкого автономного округа колеблется от 0,5 до 1 %, а тория – достигает 4 %. Однако, это рудные концентрации, которые вряд ли могли наблюдаться в почвах. Видимо, имеется в виду $(0,5-1) \cdot 10^{-4} \%$ и $4 \cdot 10^{-4} \%$.

7. На рис. 3.10 «Карта-схема распределения Cs-137 в донных осадках Большеземельской тундры» цветом и изолиниями показано непрерывное распределение параметра по всей площади исследуемой территории, что некорректно, т.к. донные отложения распределены в пространстве дискретно.

8. На стр. 39 указано, что «содержание органического вещества и фракции <45 мкм влияют на изменение содержание Cs-137 не более чем на 32%», при этом нигде не сказано, как этот «процент влияния» был определен. То же касается и всех других аналогичных утверждений в работе.

9. В главе 3 содержание техногенных радионуклидов в донных отложениях выражено в единицах удельной активности (Бк/кг), а содержание радионуклидов в почвах – в единицах плотности поверхностного загрязнения, где-то в системе СИ (Бк/м²), а где-то в СГСЕ (Ки/км²). При этом в работе предлагается сравнить результаты, полученные авторами в единицах поверхностного загрязнения (Ки/км²), с литературными данными, выраженными в единицах удельной активности (Бк/кг). Это очень неудобно, создает впечатление неаккуратности и неуважения к читателю, т.к. заставляет читателя постоянно пересчитывать Ки/км² в Бк/м² и в Бк/кг. Пересчет затруднен тем, что в работе нигде не указано, какая толщина слоя почвы бралась в расчет при оценки плотности загрязнения (5 или 10 см) и какая принималась плотность почвы (1000 или 1500 кг/м³ или какая-то еще). Все это крайне затрудняет анализ материала, требует большого напряжения и отнимает у читателя силы, которых и так мало. Необходимо было, во-первых, по всей работе использовать единую систему единиц измерения (желательно, конечно, СИ), и во-вторых, результаты измерений содержания техногенных радионуклидов в почвах надо было дать не только в единицах плотности

загрязнения, но и в единицах удельной активности (Бк/кг), хотя бы в Приложении.

10. В разделе 3.3 автор утверждает, что одним из источников загрязнения почв Ненецкого автономного округа изотопами плутония являются выпадения в результате Чернобыльской АЭС. Однако, известно, что выпадения изотопов плутония во время аварии на ЧАЭС ограничивались в основном 30 км зоной вокруг станции, т.к. плутоний не является летучим элементом (см. Атлас загрязнения Европы...). За пределами этой зоны были обнаружены лишь отдельные горячие частицы. Данному вопросу посвящена обширная литература. Для того, чтобы утверждать, что изотопы плутония в почвах НАО имеют чернобыльское происхождение, необходимо дать в работе более подробные разъяснения и привести более серьезную доказательную базу, тем более, что регион исследований, как указано на стр. 4, расположен вблизи ядерного полигона Новая Земля, а также насыщен потенциально радиационно-опасными объектами, включая действующие предприятия по строительству, ремонту и утилизации атомного флота, которые теоретически также могут служить источником поступления плутония в почвы.

11. В четвертой главе, стр. 53, указано, что «повышение дозы гамма-излучения <по мере увеличения глубины сезонного оттаивания> вероятно обусловлено потоком естественных радиоактивных газов, в том числе радона и его продуктами распада», однако при указанных значениях плотности потока радона концентрация дочерних продуктов распада в воздухе, как и на поверхности почвы, недостаточна для увеличения мощности дозы гамма-излучения. Это легко можно посчитать.

12. В четвертой главе, стр. 55, необходим более детальный анализ распределения радионуклидов по глубине почвенного профиля. В профиле явно выделяется несколько слоев, отличающихся концентрацией всех радионуклидов, а, следовательно, составом и свойствами отложений, содержанием органики и минеральной составляющей, о чем в работе почти ничего не сказано. Причиной избыточных концентраций свинца-210 (по

сравнению с радием-226) в на глубинах более 20 см может быть только повышенная концентрация радона-222 в этом слое. Повышенные концентрации радона, скорее всего, формируются осенью и в начале зимы при промерзании сезонно-талого слоя сверху, когда почвенный радон не может выйти в атмосферу и оказывается «запечатанным» в талой области между многолетнемерзлыми породами и промерзающим слоем. Возможно, определенную роль здесь играет криогенное отжатие поровых вод и газов, содержащих радон, из мерзлой в промерзающую зону.

13. В главе 5, при сравнении содержания радионуклидов в донных отложениях рек Колвы и Усы видно, что для р. Колвы характерно повышенное содержание всех природных радионуклидов (радия-226, тория-232 и калия-40), что может быть обусловлено, скорее не нефтяным загрязнением, а разницей в геологическом строении бассейнов этих рек. Однако, геологическое строение этих территорий в работе никак не охарактеризовано.

14. К сожалению, в работе не проводились измерения содержания урана в донных отложениях (например, методом ICP MS). Между тем, как упоминалось выше, характерный признак загрязнения при добыче нефтепродуктов - высокие концентрации радия при отсутствии повышенных содержаний урана.

15. В главе 5, на стр. 68, указано, что «степень подвижности у Ra-228 выше, чем у Ra-226 (Bai and Wan, 1998)». Доступ к полному тексту статьи (Bai and Wan, 1998) в интернете найти не удалось, однако, нигде больше в обширной литературе, посвященной переносу радия в геологической среде, нет информации о различиях в подвижности радия-228 и радия-226. Как правило, изотопы одного элемента обладают одинаковыми геохимическими свойствами, а, следовательно, и близкой миграционной способностью. Скорее всего, низкие концентрации радия-228 (по сравнению с радием-226) в донных отложениях обусловлены не разницей в их подвижности, а относительно малым периодом полураспада Ra-228 (5,75 лет), о чем в работе не сказано. Радий-228 полностью или почти полностью распадается примерно за 30-40

лет, что вполне соответствует выдвинутому в работе предположению, что загрязнение территории нефтепродуктами могло иметь место в начале 1990х годов.

16. Весь раздел 5.4 «Оценка параметров радиационной безопасности для донных осадков и нефтешламов» написан «на скорую руку» и требует полной переработки: а) не приведены формулы по которым проводилось оценки; б) радиевый эквивалент активности (R_{aeq}) является практически полным аналогом эффективной удельной активности природных радионуклидов ($A_{эфф}$), в связи с чем его можно было не оценивать; в) годовой эквивалент эффективной дозы в тексте, видимо, ошибочно выражен в нГр/ч (единицы мощности поглощенной дозы), а не в мЗв/год; г) не указано для какой среды проведен расчет поглощенной дозы гамма-излучения (D_R), результат также выражен в нГр/ч, т.е. в единицах мощности дозы; д) фраза «эффективная доза для донных осадков дельты реки Печора варьируется от...» некорректна, т.к. эффективная доза рассчитывается для определенных условий облучения человека (населения), но никак не для донных отложений.

17. В работе употребляется термин «коэффициент эманации», между тем как общепринятым термином является «коэффициент эманирования». Также сильно режет слух часто используемое автором по всей работе словосочетание «имеемые данные», «согласно имеемым данным». Обычно говорят «имеющиеся данные».

Выводы

В целом, несмотря на перечисленные недостатки, автор выполнил важные исследования и получил новые научные результаты, которые можно рассматривать как завершённый научный труд, соответствующий уровню кандидатской диссертации. Сделанные замечания не уменьшают значимость полученных автором научных результатов, которые следует рассматривать как один из возможных вариантов в решения важной проблемы оценки радиационной обстановки территории Ненецкого автономного округа.

Считаю, что диссертационное исследование Андрея Викторовича Пучкова «Радионуклиды в экосистемах тундры: источники, уровни загрязнения, антропогенные механизмы трансформации радиационного фона (на примере ключевых участков Ненецкого автономного округа)» соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.21 – Геоэкология, а ее автор, Андрей Викторович Пучков, заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Д.г.-м.н., профессор РАН,
Заместитель директора по научной работе
ФГБУН Институт геоэкологии
им. Е.М. Сергеева РАН

П.С. Микляев
26 декабря 2023 г.

101000, Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2
ФГБУН Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН)
<https://www.geoenv.ru>
Тел.: +7 495 623-31-11, +7 926 135-95-63
E-mail.: peterm7@inbox.ru

Согласен на обработку персональных данных

П.С. Микляев
26 декабря 2023 г.



Н.С. Микляева

СЕКРЕТАРЬ ИГЭ РАН

Н.А. Румянцева

26.12.2023 г.