

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Ерзовой Валентины Александровны

«Воздействие объектов атомной энергетики на радиационное состояние подземных вод на примере Северо-Западного Атомно-промышленного комплекса (Ленинградская область)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

по Специальность 1.6.6 – Гидрогеология

(170 страниц, 48 рисунков, 33 таблицы, 153 литературных ссылок)

Актуальность работы, посвященной изучению условий возникновения, распространения и прогнозу изменения в будущем техногенного радиоактивного загрязнения природной среды в районе Северо-западного Атомно-промышленного комплекса (СЗ АПК) Российской Федерации не вызывает сомнения, поскольку данная территория включает энергетический узел и ряд важнейших научно-технологических организаций, а защищаемым объектом является трансграничный водоем – Финский залив, на берегу которого с российской стороны расположены критические в экономическом отношении промышленные и транспортные кластеры.

Методика исследований, использованная автором для получения исходной информации, включала натурное опробование и современный комплекс математических методов для анализа информации. Данные, полученные автором, в ряде случаев являются уникальными, определяя научную новизну работы. Например, следует отметить массив данных по радиоизотопному составу донных осадков, подземных и поверхностных вод. Интерпретация материалов выполнена автором, в том числе, с привлечением относительно мало разработанных в российском научном сообществе статистических методов. Перечисленные обстоятельства и, в первую очередь, обширный экспериментальный материал, определяют **высокую степень обоснованности и достоверности** полученных выводов и защищаемых положений, что повышают также **практическую и научную значимость** работы.

Результаты исследования представлены автором самостоятельно и в соавторстве в ряде публикаций из списка ВАК и индексируемых в базе SCOPUS, а также материалах научных собраний. **Автореферат** диссертации полностью **соответствует содержанию работы** и отражает все ее принципиальные положения.

Представленная к защите **диссертация является законченным научным исследованием**, результаты которого в дальнейшем могут быть использованы, как при изучении условий функционирования СЗ АПК, так и для тиражирования данного подхода при оценке влияния радиационно опасных объектов на окружающую среду в других районах РФ.

Несмотря на общую положительную оценку работы, имеется ряд замечаний к ее оформлению и содержанию.

Актуальность работы. Раздел состоит из довольно длинного (около 1,5 стр.) описания общей ситуации, включая ссылки на специалистов, ранее занимавшихся аналогичными задачами в пределах СЗ АПК, что совершенно излишне в обосновательной части работы.

Защищаемые положения.

Положение 1. *Поверхностные и подземные воды, почвы, донные отложения морской акватории и водотоков большей части района СЗ АПК характеризуются содержанием продуктов деления урана на уровне глобального фона, сформировавшегося под влиянием Чернобыльской аварии, за исключением локальных участков загрязнения*

донных отложений в прибрежной зоне Копорской губы и подземных вод на участке размещения поверхностных хранилищ РАО изотопами Sr-90, Cs-137 и тритием.

Положение 2. Ореолы радионуклидного загрязнения подземных вод на территории ФГУП «ФЭО» обусловлены утечками 40-летней давности из хранилищ РАО и имеют «исторический» характер, так что на современном этапе наблюдается природная реабилитация участка загрязнения.

Первое защищаемое положение, а также первая часть второго защищаемого положения фактически представляет собой констатацию фактов. Главной является вторая часть предложения, на которую и следовало акцентировать внимание.

Научная новизна.

Пункт 2. «Впервые сопоставлены значения миграционных параметров, ранее установленных в лабораторных условиях на образцах горных пород, с полученными в ходе интерпретации данных многолетнего мониторинга подземных вод площадки хранения РАО методом статистических моментов».

Пункт 3. «Установлено, что в перераспределении радиоактивного ореола загрязнения в водоносных горизонтах существенная роль принадлежит вертикальному водообмену ...».

Возможно, именно эти два пункта нужно было сделать защищаемыми положениями.

Практическая значимость работы:

В первом пункте говорится о том, что «полученные значения удельных активностей и коэффициентов сорбционного распределения техногенных радионуклидов ... в донных отложениях рек и Копорской губы могут быть учтены при оценке дозовых нагрузок на население ...».

Данные по донным отложениям никак не могут быть учтены при расчете доз, так как население контактирует с указанными объектами только опосредовано через биоту.

Публикации

Указано, что «Основные результаты диссертационной работы освещены в 7 научных работах ... из них 1 в ... издании, входящем в перечень ВАК, и 3 в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus».

Однако в списке литературы приведены ссылки только на 3 статьи в журналах с участием автора данной работы; еще 3 публикации представляют собой материалы конференций. Наконец 2 ссылки – это свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Основные замечания к содержательной части работы.

Глава 1. "О проблеме радиоактивного загрязнения подземных вод и окружающей среды".

Выводы к Главе 1 в составе всего 2 пунктов.

Вывод 1. «В изменение радиационного состояния окружающей среды территории исследования (30-км зона ЛАЭС-2) вносят объекты атомной энергетики, входящие в состав Северо-Западного атомно-промышленного комплекса (СЗ АПК)».

Вывод 2. «Особый интерес представляет ... ФГУП «ФЭО», где несовершенство инженерных конструкций зданий-хранилищ привело к попаданию радиоактивных растворов в подземные воды ... и формированию техногенного ореола загрязнения».

Оба вывода, являются общим местом, слабо отражают работу автора по анализу ситуации в районе СЗ АПК и поэтому мало помогают в обосновании цели и задач исследования. Вся Глава 1 может в существенно сокращенном виде быть перенесена в качестве вступительной части к Главе 2 "Общая характеристика района исследования".

Из мелких огрехов Главы 1 следует указать на то, что при перечислении радиационно-опасных объектов в пределах СЗ АПК на стр. 21–22 не упомянута площадка Радиевого института РАН им. В.Г. Хлопина.

Глава 2. "Общая характеристика района исследования".

На стр. 25. при описании изученности района дано указание, как на источники информации, на карту почвенно-экологического районирования Российской Федерации масштаба 1:8 000 000, а также геологосъемки масштаба 1: 200 000 1960–1966 г. в пределах листов О-35-V и О-35-VI.

Во-первых, карта 1:8 000 000 является слишком мелкой при рассмотрении 30-км зоны, во-вторых, в открытом доступе имеются результаты геологосъемки масштаба 1: 200 000 уже 2008–2010 г.

На стр. 27. при рассмотрении климатических характеристик территории использованы, по-видимому, данные из сети Интернет (точнее сказать невозможно, так как ссылки на источник информации автор не дает). Период времени, для которых дается осреднение параметров, не указан, что само по себе может дать ошибку, вследствие значительного изменения климата в последние десятилетия. Это обстоятельство важно, поскольку эпигнозные модельные расчеты в Главе 5 охватывают около 40 лет в прошлое, а прогнозные – около 70 лет в будущее. Однако все модельные расчеты выполняются на фоне статичной климатической ситуации, включая температуру воздуха, объем осадков, испарение и сток, в то время как литературные данные указывают на их существенные изменения в последние десятилетия. Как следствие этого подхода используется неизменное во времени значение инфильтрационного питания подземных вод. Между тем, инфильтрация является одним из критически важных параметров, определяющих скорость распространения радионуклидного загрязнения.

Описание геологического разреза (стр. 28–35) и гидрогеологических условий (стр. 35–43) дано для 30-км зоны. На базе рассмотрения фактического материала доказывается, что основные пути миграции протекают в пределах четвертичного и воронковско-ломоносовского водоносных горизонтов. Из текста также становится понятным, что изучаемая площадь пространственно сужается, фактически, до промышленной зоны южнее г. Сосновый Бор размером около 8×7 км. Затем в Главе 5 для этой площади даются модельные оценки распространения техногенных радионуклидов. С одной стороны, отсюда следует, что описание геологических образований, начиная от лонтовасского горизонта сиверской свиты (нижний кембрий) и до келайского горизонта елизаветинской свиты (средний ордовик) может быть или сокращено или вовсе исключено из текста. С другой стороны, обоснованное исключение части описательного материала дало бы место для расширенного рассмотрения четвертичного и воронковско-ломоносовского водоносных горизонтов, как геологических подразделений, включающих основное техногенное загрязнение.

На Рисунке 2.8 (стр. 43) представлена карта гидроизогипс грунтового и ломоносовского горизонтов. К рисунку имеется два замечания. Во-первых, подписи гидроизогипс не читаемы ни при каких увеличениях масштаба. Во-вторых, рисовка изогипс для ломоносовского горизонта ограничена только территорией ЛАЭС-2 (построенная и проектируемая очереди), а также небольшой частью площадок ФГУП «ФЭО» и Комплекса переработки отходов (КПО), суммарно занимая площадь составляет около 3.2 км². Между тем, эта информация является основой для калибровки численной модели (Глава 5), которая охватывает площадь 31,2 км² (стр. 134), что вызывает вопросы к качеству исходных данных для моделирования.

Из второстепенных замечаний к Главе 2 можно выделить следующие.

Замечание к Рисункам 2.5 и 2.6 на стр. 36 и 37. В легенде к гидрогеологической карте-схеме гидрокарбонатный и хлоридный состав воды показан одним цветом – синим.

На разрезе нет нижней границы пресных вод (в легенде соответствующий значок имеется), хотя приведена минерализация 2,2 г/л для скважины 1767.

На стр. 38 сказано «Область питания водоносных горизонтов совпадает с областью их распространения и приурочена к участкам, где водовмещающие породы залегают близко к поверхности земли». Все рассмотренные водоносные горизонты и комплексы включают в свой состав слабопроницаемые слои, что исключает их прямое питание при погружении под перекрывающие геологические образования.

Глава 3. "Изучение радионуклидного состава почв, донных отложений, поверхностных и подземных вод района исследования".

Рассмотрение фондовых и полученных автором материалов начинается с данных о химическом составе поверхностных и подземных вод.

Основное замечание к этой части главы состоит в том, что имея значительную базу данных по химическому составу (только для поверхностных вод – 345 анализов) автор во всех случаях приводит только *статистические* характеристики для указанной выборки (как правило, минимум, среднее, максимум и в некоторых случаях другие характеристики). Этот подход к подаче материала лишает возможности оценить достоверность данных стандартными методами, например, по балансу анионов/катионов, сравнением экспериментального сухого остатка с вычисленным и т.д.

Отсутствие в тексте работы индивидуальных анализов (обычно дают наиболее характерные) приводит к тому, что, например, согласно Таблице 3.1 на стр. 48 в Копорской губе средняя минерализация воды указана равной 2784,1 мг/дм³, а в Финском заливе – 1698,8 мг/дм³. Последнее выглядит несколько странным. Возможно, имеет место влияние ЛАЭС-1,2, так как Таблице 3.1 для водозаборов и водосбросов ЛАЭС (в таблице даны без разделения на ЛАЭС-1 и ЛАЭС-2) дана средняя минерализация 3248,1 г/дм³. Однако и здесь при рассмотрении данных возникает трудность, состоящая в том, что сбросы не отделены от забора воды.

Подача в таблицах только «готовых» статистических данных не позволяет убедиться в правильности их вычисления. А, между тем, вопросы к методу оценки статистик возникают, так как диапазоны вариаций параметров велики. Например, для рек дано изменение минерализации воды от 159,7 до 1027,6 мг/дм³, а хлоридов от 7,3 до 410,1 мг/дм³ (Таблица 3.1). Имеет ли в данном случае место нормальное распределение, для которого расчет среднеарифметического допустим, или какой-то другой вид распределения неясно, так как нет данных по даже медиане и не указано количество анализов. Можно ли при этом рассматривать все реки в одной совокупности или правильнее было бы выделить группы? Несколько озадачивает минерализация речной воды, достигающая, согласно автору, 1 г/дм³, что для Ленинградской области не является характерным.

Замечания по применимости линейной статистики к имеющемуся набору данных относятся и к информации о химическом составе подземных вод. Например, в Таблице 3.3 (стр. 53) показано, что содержание хлоридов в четвертичном горизонте изменяется от 3 до 993 мг/дм³, в верхней зоне ломоносовского горизонта (так с тексте) – от 1 до 255 мг/дм³, в средней – от 2 до 128 мг/дм³, в нижней – от 2 до 231 мг/дм³. Правда, в этом случае близость медианы и среднего для большинства измеренных параметров позволяет предположить, что имеет место нормальное распределение измеренных величин.

Главное же замечание к блоку текста, в котором рассмотрены данные о химическом составе воды, состоит в том, что эта информация никак далее не используется при анализе распространения радионуклидного загрязнения.

Распространенность природных радионуклидов (ПРН) рассматривается в Таблице 3.6 (стр. 57). В ней приведены данные по вендскому водоносному комплексу, что важно, так как он рассматривается в качестве резервного на период ГО и ЧС. В резюме к

данному подразделу сделан ряд ошибок при перенесении количественных данных из Таблицы 3.6 в текст.

Среди техногенных нуклидов в рассмотрение приняты Cs-137, Sr-90, тритий и скрининговые параметры – суммарная активность альфа- и бета-излучающих нуклидов, которые автор обозначил как «суммарная бета- и альфа-активности», что является вульгаризмом.

В отношении техногенных нуклидов принципиально важным является оценка фоновое состояния поверхностных и подземных вод. В этом случае возникают трудности, так как в естественном состоянии водные объекты в районе СЗ АПК находились в период, когда информация об активностях техногенных нуклидов или не могла быть получена совсем или имелась в нерепрезентативном объеме.

Для оценки фоновое состояние автором проанализированы материалы 2010–2015 г. по четвертичному (5 точек опробования) и ломоносовскому (так в тексте, 9 точек) водоносным горизонтам и вендскому комплексу (3 точки). Статистические данные представлены в Таблице 3.8 (стр. 62). Замечание в данном случае состоит в том, что автор использует данные за период, когда техногенное радионуклидное загрязнение территории уже существовало многие десятки лет. Скважины, для которых измеренные активности радионуклидов в воде приняты в качестве фоновых, расположены непосредственно вблизи основного источника загрязнения, однако никаких объяснений данному выбору референсных точек автор не дает. Наконец, при оценке фонов автор дает не конкретные величины, а пределы вариаций – «тритий – 1,0–4,0 Бк/кг; Sr-90 – 0,004–0,030 Бк/кг; Cs-137 – 0,003–0,040 Бк/кг». Во-первых, это вариации активностей в пределах целого порядка. Во-вторых, данный подход, что очевидно, не позволяет корректно оценить прошлые, текущие и расчетные прогнозные аномалии активностей техногенных нуклидов.

Раздел 3.4 посвящен результатам изучения радиологических характеристик почв в районе СЗ АПК. В 2021 г. автором работы было выполнено опробование почв в четырех точках 30-км зоны. Во-первых, возникает вопрос к расположению точек, так как они вынесены за пределы промышленной зоны. Во-вторых, непонятно почему в работу взяты только четыре точки, если, согласно автору (стр. 26), имеет место, как минимум, шесть разновидностей почвенных природно-территориальных подразделений.

В разделе «3.5. Содержание радионуклидов в донных отложениях района исследований» и вообще в тексте отсутствует Таблица 2.15, ссылка на которую дана на стр. 82.

В Таблицах 3.12 и 3.18, которые должны характеризовать воду, использованную для сорбционных лабораторных экспериментов, приведены пределы вариаций компонентов. Например, по хлоридам для р. Воронка дан разброс от 2,4 до 1921 мг/л (так в тексте), а для Копорской губы от 859,7 до 2067,2 мг/л (так в тексте). Хотя понятно, что в экспериментах была использована воде некоего конкретного химического состава.

Глава 4. "Изучение радионуклидного загрязнения подземных вод на территории ФГУП «ФЭО» " является ключевой в плане анализа исходных данных по уровню и характеру сверхнормативного загрязнения в пределах СП АПК.

В Таблице 4.1 Изменение уровней подземных вод (2010-2016 гг.) приведены данные для 12 скважин на четвертичный и 4 скважин на ломоносовский (так в тексте) горизонты. При этом нет данных ни для одной группы парных скважин обозначенных ранее на схемах, что могло бы быть основным доказательством для заключения о наличии нисходящей вертикальной фильтрации в пределах площадки ФГУП «ФЭО».

Рисунок 4.4 демонстрирует совмещенный хронологический график колебания уровня в скважине №43а на грунтовый горизонт и атмосферных осадков. Для весеннего сезона действительно наблюдается хорошая прямая корреляция между объемом выпавших осадков и уровнями воды. Однако, начиная с июня, корреляция ухудшается, что естественным образом связано с влиянием эвапотранспирации. Эти натурные данные

еще раз подчеркивают важность анализа изменения климатических параметров во времени, так при моделировании в Главе 5 рассматривается промежуток времени около 100 лет.

На Рисунке 4.6а отчетливо показан купол растекания в грунтовом горизонте, который обусловлен утечками от ряда хранилищ с номерами 4–9. Этот купол растекания в сглаженном виде транслируется в воронковско-ломоносовский горизонт. Из дальнейшего изложения не ясно, учитывается ли это дополнительное питание в ходе численного моделирования.

Согласно Таблице 4.3 «Содержание радионуклидов в воде каньона здания-хранилища 4» между 2010 и 2011 г. происходит увеличение активности по тритию примерно в 30 раз (с 1×10^6 до $2,9 \times 10^7$ Бк/кг), а по цезию-137 – в 180 раз (с 12 до 2217 Бк/кг), что требует объяснений и должно быть учтено при математическом моделировании.

Рисунок 4.11 демонстрирует изменение среднегодовых активностей трития с середины 1990^{-х} до 2017 г. в контрольно-наблюдательных скважинах. Согласно графикам в четвертичном водоносном горизонте активности трития падают, а в ломоносовском для части скважин растут. Остаются невыясненными два вопроса:

- 1) влияет ли плотность загрязняющих растворов на ход вертикальной нисходящей миграции;
- 2) совпадает ли масса трития, перенесенного из грунтового горизонта в воронковско-ломоносовский, с массой трития, потерянной из хранилищ.

Оба вопроса являются принципиальными для схематизации процесса распространения техногенного загрязнения.

В разделе 4.5 применен метод моментов для количественного анализа результатов мониторинга за бета-активностями техногенных нуклидов. На базе этого подхода оценен ряд массообменных параметров, в частности, коэффициент сорбционного распределения K_d (Таблица 4.8, стр. 127). Величины K_d , найденные по результатам обработки данных мониторинга, оказались на несколько порядков ниже определенных в лабораторных экспериментах (например, Таблица 3.19, стр. 91). Во-первых, обнаруженное различие нуждается в объяснении; во вторых, именно разбор этого обстоятельства имело смысл вынести в качестве защищаемого положения.

Глава 5. "Прогноз миграции радионуклидов в условиях возрастающей техногенной нагрузки".

В постановочной части главы сказано: *«Выбор модуля Modpath обусловлен тем, что в работе исследовались: направление движения ореола загрязнения, его действительные скорости, а также времена прихода радионуклидов к зонам разгрузки. ... решение же полной адвективно-дисперсионной задачи является избыточным и может приводить ... к дополнительным неопределенностям».*

Эта оговорка необходима, но, между тем, не она объясняет на каком основании задача моделирования была сужена автором до оценки области локализации траекторий и вычисления скоростей движения нейтральных частиц, что не позволяет корректно оценить результаты воздействия 2-й очереди ЛАЭС-2 на уже существующий ореол загрязнения.

При описании внешних границ модели на стр. 134 сказано: *«Северная граница модели задавалась по линии тока грунтового водоносного горизонта, ... (I род)».* Это ошибка, так как линия тока является непроницаемой границей II рода.

При описании внутренних границ модели на стр. 135 не указано как задавались утечки из хранилищ и как учитывались заглубленные фундаменты (то есть, непроницаемые границы) первой очереди ЛАЭС-2.

В Таблице 5.2 для начальных условий (до калибровки модели по напорам) для четвертичных отложений дан диапазон коэффициентов фильтрации 0,02–100 м/сут.

Нужно было указать, какие литологические разности имеют коэффициенты фильтрации 100 м/сут., а также привести графическое представление пространственного вида матрицы коэффициентов фильтрации. По результатам калибровки модели, коэффициенты фильтрации, видимо, были изменены, однако, указания на это в тексте отсутствуют, кроме фразы «... коэффициенты фильтрации четвертичных отложений за пределами палеодолины были увеличены на 25 % относительно изначально принятых значений» на стр. 140.

В Таблице 5.3 приведены фактические и расчетные значения уровней. К таблице есть следующие замечания:

- совпадают ли номера скважин в таблице (вертикальная графа 1) с номерами скважин на рисунках и схемах, представленных ранее в тексте;
- для какого из водоносных горизонтов (четвертичного или воронковско-ломоносовского) приведены данные по фактическим и расчетным напорам (вертикальные графы 2 и 3, соответственно);
- в последней графе «Разница» примерно для половины величин невязок по уровням потерян знак минус.

На Рисунках 5.5, 5.6 и 5.7 (стр. 142–144) линия тока, показанная на разрезе (выходит с территории ФГУП «ФЭО», ныряет в палеодолину, а затем выныривает из нее), невозможна физически, а четвертичные отложения, мощность которых, судя по разрезу, на берегу Копорской губы составляет около 6–7 м, в действительности на большей части площадки ЛАЭС-1 отсутствуют.

На стр. 145 сказано: «... принята величина активной пористости: для четвертичных отложений 0,35; для кембрийских песчаников – 0,3; для кембрийских глин – 0,07». Почему для глин пористость принята меньше, чем для песчаников, хотя, как правило, бывает наоборот?

Выводы к разделу 4.5.4 (вывод 8 на стр. 130) включают предложение об отказе от расчета миграционных параметров методом моментов на базе мониторинга бета-активности в силу получения непропорционально малых K_d . Следовательно, нужно объяснить, почему при этом факторы задержки, оцененные по указанной схеме, принимаются в рассмотрение в качестве исходных параметров для расчета переноса Sr-90 и Cs-137 (стр. 146).

Закключение к работе содержит пункт 2, в котором говорится: «... , что большая часть территории характеризуется содержанием техногенных радионуклидов Sr-90, Cs-137 и трития в подземных водах на уровне фона, характерного для данного района. Исключение составляет площадка пункта хранения РАО, где сформировался наибольший по площади техногенный ореол загрязнения ...». Содержательная часть этого пункта Закключения неоднократно озвучивалась ранее рядом исследователей и не является оригинальной.

В пункте 3 говорится «... максимальные ... активности трития и суммарной β -активности на ... площадке ФГУП «ФЭО» фиксируются в ломоносовском (так в тексте) водоносном горизонте, где радиоактивный ореол появился с задержкой, что подтверждает «исторический» характер загрязнения и отсутствие современных поступлений радиоактивных растворов». Появление загрязнения в воронковско-ломоносовском водоносном горизонте с задержкой (по-видимому, относительно четвертичного горизонта) само по себе не является подтверждением «исторического» характера загрязнения и отсутствия современных поступлений радиоактивных растворов.

Высказанные замечания не снижают общее качество и оценку диссертации, которую следует рассматривать как достойную квалификационную работу, тем более, что в ходе исследования получены сведения, существенные для дальнейшего развития знаний о функционировании Северо-западного Атомнопромышленного комплекса РФ. Отмеченные выше огрехи, несомненно, легко могут быть исправлены.

Токарев И.В. Отзыв на дисс.канд.г.-м.н. Ерзовой В.А. на 8 стр.

Таким образом, диссертация полностью соответствует квалификационным требованиям, установленным ВАК РФ, а ее автор – Ерзова Валентина Александровна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.6 – Гидрогеология.

13.02.2023

Токарев Игорь Владимирович

паспорт 4005 694237 выд. 62 О.М. Калининского района Санкт-Петербурга 05 июля 2005.

Кандидат геолого-минералогических наук (специальность 1.6.6 – Гидрогеология)

ведущий специалист

Ресурсный центр «Рентгенодифракционные методы исследования»

Научный парк Санкт-Петербургского государственного университета

Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9

i.tokarev@spbu.ru

spbu@spbu.ru

Я, Токарев Игорь Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Согласно подписи Токарева И.В.
удостоверено



Ерз В.А. 13.02.2023