

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Н.Н. Казаченок** «**Закономерности формирования техногенных биогеохимических провинций радиоактивных изотопов**», представленную на соискание ученой степени доктора географических наук по специальности **25.00.36** – Геоэкология (Науки о Земле)

Представленная к защите диссертация Н.Н. Казаченок является закономерным итогом ее многолетних изысканий в области геоэкологии, важного научного направления в науках о Земле, на примере миграции техногенных радионуклидов. В основу диссертации положены теоретические обобщения и экспериментальные данные, полученные автором в ходе многолетних полевых исследований и лабораторных экспериментов в наиболее загрязненных техногенными радионуклидами (ТРН) районах Южного Урала и полесских ландшафтов Беларуси, подвергшихся радиационному воздействию в результате техногенной катастрофы на ЧАЭС в 1986 г.

Актуальность темы диссертации определяется необходимостью исследования закономерностей образования и трансформации техногенных биогеохимических провинций радиоактивных изотопов, возникающих вследствие радиационных аварий, и ее пригодности для жизни человека. В такой постановке важным становится учет особенностей географической дифференциации загрязненных территорий по условиям миграции радионуклидов и возможности ее хозяйственного использования.

Достоверность и новизна диссертационного исследования Н.Н. Казаченок определяется выполнением комплексных исследований динамики содержания и закономерности поведения различных радиоактивных изотопов (^{90}Sr , ^{137}Cs) в различных компонентах педосферы, гидросферы и биоты трех техногенных радиобиогеохимических провинциях: Южно-Уральской, Полесской и Восточно-Белорусской.

Автор принимала непосредственное участие в полевых и камеральных исследованиях с 2007 г. по 2014 г на Южном Урале в составе подразделения Уральского научно-практического центра радиационной медицины (до 1992 г.

известного как Филиала Института биофизики № 4), в задачи которого входило проведение научных исследований в целях контроля и прогноза дозовых нагрузок на население, а также экосистемы загрязненных территорий.

Методология полевых исследований опиралась на разработанные А. Е. Бахуром научно-методические основы радиоэкологической оценки, принятые для радиоэкологической оценки геологической среды. Ландшафтных методов исследования в окружающей среде Н.Н. Казаченок не использовала, поскольку они только создавались в 90-ые годы параллельно в работах Е.В. Квасниковой и В.Г. Линника, получив в дальнейшем название «ландшафтная радиоэкология по В.Г. Линник» или «радиоэкология ландшафта», по Е.В. Квасниковой.

Н.Н. Казаченок впервые проведена комплексная геоэкодиагностика состояния радиоактивного загрязнения природно-хозяйственных систем в масштабах радиобиогеохимической провинции провинции через 60 лет с момента радиоактивного загрязнения.

В ходе выполненных исследований впервые установлено, что несмотря на различие природно-климатических условий анализируемых биогеохимических провинций, расположенных в лесной и лесостепной зон, а также источников, режимов и уровней радиоактивного загрязнения, механизмы миграции ТРН могут быть описаны на единых методологических принципах, что позволяет успешно использовать единые методы прогнозирования геоэкологической обстановки.

Автором впервые исследован перенос трития (^3H) с атмосферными осадками от технологических водоемов в озера региона в качестве трассера для совершенствования методологии исследования локальных круговоротов воды в масштабах выделенных биогеохимических провинций.

На основе полученной информации автором были разработаны и опробованы оригинальные методы Байесовской статистики и нечёткой логики для планирования хозяйственной деятельности в условиях неоднородного радиоактивного загрязнения.

Автором впервые осуществлено имитационное моделирование вертикальной миграции радионуклидов в почве с помощью виртуальной машины, выполнены исследования по статистической обработке данных.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях и семинарах, опубликованы в 1 монографии, в семи (7) главах коллективных монографий (из них 4 входят в Scopus), в 15 журналах из списка ВАК. Получены свидетельства о регистрации 5 программ для ЭВМ.

Значимость для науки и практики полученных диссертантом результатов. Н.Н. Казаченок предложен способ выделения и проведения комплексных геоэкологических исследований в техногенных биогеохимических провинциях различного генезиса (авария на ПО «МАЯК» и ареал радиоактивного загрязнения в Беларуси в результате аварии на ЧАЭС).

Н.Н. Казаченок разработаны различные методические материалы по комплексному изучению техногенных биогеохимических провинций радиоактивных изотопов, среди них «Методика оценки возможности использования земель в сельскохозяйственном производстве по текущей плотности загрязнения их радионуклидами», а также «Методика оценки источников радиоактивного загрязнения речной системы». Эти материалы переданы в Российскую научную комиссию по радиологической защите (РНКРЗ), а также в организации, регламентирующие хозяйственную деятельность на загрязненных радионуклидами территориях.

Доказана общность поведения ТРН в компонентах экосистем в различных техногенных биогеохимических провинциях (Урал и Беларусь), что позволяет применять единые методы радиоэкологического мониторинга, а также моделирования и прогнозирования радиоэкологической обстановки.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Проведенные исследования нашли практическое применение при мероприятиях по безопасному осуществлению хозяйственной деятельности на загрязненных радионуклидами территориях и минимизации радиационного риска. Н.Н. Казаченок предложен оригинальный метод отслеживания техногенных изотопов трития (^3H) Cs в качестве трассера для исследования локальных круговоротов воды в масштабах провинции. Для изучения миграции радионуклидов в почвенном покрове Южно-Уральской техногенной биогеохимической провинции автором обоснована целесообразность применения различных изотопов плутония.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности. Диссертация содержит 313 страниц текста и состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы из 342 источников, содержит 117 рисунков и 33 таблиц.

В первой главе «Техногенные биогеохимические провинции радиоактивных изотопов» приводится авторское представление о техногенных биогеохимических провинциях радиоактивных изотопов, а также выполнен подробный сравнительный анализ представлений различных авторов по существующему вопросу выделения техногенных биогеохимических провинций. На мой взгляд, важный вывод, сделанный в этой главе автором состоит в том, что радиоактивное загрязнение в силу сверхмалых концентраций (техногенные изотопы по сравнению с микроэлементами в биогеохимических ландшафтах находятся в ультранизких концентрациях), практически не оказывают влияния на фоновую геохимическую обстановку. Однако вследствие высокой радиационной опасности для здоровья населения на этих территориях происходит существенное изменение хозяйственно-экономических и социальных условий в регионе. А это уже непосредственно предмет исследования географических наук.

В этой главе автором предложены три критерия для отнесения исследуемой территории к категории техногенных биогеохимических провинций радиоактивных изотопов: 1) по факту радиоактивного загрязнения территории; 2) превышению фоновых уровней радиоактивного загрязнения в природных компонентах и 3) соответствию биогеохимической аномалии техногенных радиоактивных изотопов масштабам физико-географической провинции.

Третий критерий, как видите, имеет прямое отношение к предмету географических наук.

В данном разделе обсуждаются также вопросы различных подходов для геоэкологического районирования территорий в контексте выделения техногенных биогеохимических провинций радиоактивных изотопов. Значительное внимание в данной главе уделено анализу различных радиационных аварий и их геоэкологических последствий в разных странах и в бывшем СССР.

В данной главе, исходя из авторских представлений, дано обоснование выделения трех техногенных биогеохимических провинций радиоактивных

изотопов: - Южно-Уральской (ЮУПРИ); Полесской (ППРИ) и Восточно-Белорусской (ВБПРИ).

Следует отметить, что способы районирования загрязненных радионуклидами территорий могут быть различные. Так, в проекте РАДЛАН (построение ландшафтно-геохимических и радиоэкологических карт), которая развивалась в ГЕОХИ РАН в начале 90-ых годов, за основу были взяты ландшафтно-геохимические методы исследования. Близкие по смыслу подходы использовались также Е.В. Квасниковой при составлении Атласа карт радиоактивного загрязнения. Однако в организациях, в которых работала Н.Н. Казаченок, были приняты иные принципы и методы анализа и прогноза радиоэкологической обстановки для загрязненных ТРН территорий.

В качестве замечания по данной главе отмечу отсутствие в диссертации карт выделенных техногенных биогеохимических провинций радиоактивных изотопов. Для меня, как географа, это создает определенные неудобства восприятия и анализа представленных результатов исследования. Вероятно, эти провинции (без указания границ) как то представлены на рисунках 4 и 5, характеризующих уровни радиоактивного загрязнения Полесской и Восточно-Белорусской провинций. Однако для Уральской провинции такой карты нет.

Во второй главе «Общие закономерности поведения радионуклидов в экосистемах биогеохимических провинций» рассмотрено три группы факторов, влияющих на первичные выпадения и их дальнейшее распределение на загрязненных территориях: 1) рельеф и растительность; 2) физико-химические процессы в почве и 3) биотические факторы.

Что касается рельефа и растительности, то здесь анализ сделан на уровне микро- и мезо- ландшафтных неоднородностей и оценки их влияния на распределение радионуклидов. Автор анализирует влияние этого фактора на собственных результатах, полученных при обследовании ВУРС. Однако для большей убедительности влияния рельефа следовало бы представить полученные результаты на ландшафтно-радиационных профилях (см. рис.6-8), более привычных глазу географа. Поскольку, как уже отмечалось мной ранее, в работе применялись стандартные методы полевых радиационно-гигиенических исследований, то использование методов профилирования в них не было предусмотрено.

Исследование физико-химических процессов в почве и донных отложениях р.Теча и их влияние на формы нахождения ТРН проведено максимально подробно, поскольку это определяет их биологическую доступность. Автором получены оригинальные данные по формам нахождения ^{137}Cs и ^{90}Sr также для полесских ландшафтов Беларуси.

Чтобы оценить влияние водного режима и детритофагов на миграцию радионуклидов автором был поставлен оригинальный эксперимент по имитации промывного и непромывного режима в модельной системе. Показано, что детритофаги способствуют равномерному распределению удельной концентрации ТРН в почве.

Третья глава «Закономерности поведения радионуклидов в компонентах педосферы» основана также на собственных полевых и экспериментальных работах автора. В этой главе основное внимание уделено изучению миграции ТРН в почве (автоморфные ландшафты) и донных отложениях в зависимости от времени загрязнения, поскольку это существенно для оценки биологической доступности из корнеобитаемого слоя, риска загрязнения грунтовых вод, а также для планирования реабилитационных мероприятий. В решении этих вопросов автор демонстрирует высокий профессиональный уровень и четкость в достижении поставленных целей экспериментальных исследований.

Однако при исследовании радиального распределения ТРН в пойменных почвах (р.Теча, рис. 15-26) использованная методика, когда анализируется загрязнение по мере удаления от русла реки, как источника радиоактивного загрязнения, оказывается не совсем корректной. Здесь не учтен рельеф поймы, определяющий гидрологический режим (сорбция радионуклидов из воды пойменной почвой связана с длительностью затопления) и условия осаждения взвешенных наносов, загрязненных радионуклидами. Низкая пойма затапливается ежегодно, высокая – эпизодически. Поэтому вероятное радиоактивное загрязнение на низкой пойме может происходить ежегодно, на высокой – только в период затопления. Длительность затопления поймы зависит не от удаления от русла реки, как это представлено на этих рисунках, а от высотного превышения над урезом реки. Использованный автором подход не дает возможности объяснить наличие двух и более пиков активности, связанных с экстремальными паводками.

Отмечу, что методика радиоэкологических исследований на пойме с учетом гидрологического режима была неоднократно опубликована в работах Линника В.Г. для рек Теча, Енисей, Ипуть начиная с 90-ых.

В четвертой главе «Закономерности поведения радионуклидов в компонентах гидросферы» приведены результаты исследований по современному уровню радиоактивного загрязнения водных экосистем выделенных биогеохимических провинций. Подробно рассмотрена динамика активности ТРН в водоемах Течинского каскада водохранилищ, а также озер ВУРСа. Особое место в исследованиях автора занимает исследование трития (^3H) в воде озер и зимних осадках. Это обеспечило возможность автору разработать методологию использования трития для изучения локальных круговоротов воды в экосистемах техногенных биогеохимических провинций. По степени снижения концентрации трития в водоемах можно судить о размерах территории, на которой происходит локальный водный круговорот.

Хотелось бы пожелать автору более критически относиться к утверждениям такого рода (стр.28 автореферата), как «содержание радионуклидов в грунтовых водах в районе Новозыбков-Клинцы на территории Брянской области во много раз превышает фоновые концентрации, цит. по Белоусова А.П., 2012» поскольку это не соответствует действительности.

В пятой главе «Закономерности поведения радионуклидов в компонентах биосферы» анализируется радиоэкологическая обстановка в исследуемых регионах на примере накопления радиоактивных изотопов высшей растительностью и грибами.

Получены оригинальные данные по коэффициентам перехода (коэффициентам накопления) «почва-растение». Отмечена их пространственно-временная изменчивость, что осложняет возможность прогноза радиоэкологической обстановки.

В шестой главе «Закономерности временной и пространственной динамики радиационной ситуации в социосфере» анализируются последствия радиационных аварий с позиции изменения социальных и хозяйственно-экономических условий загрязненных территорий, которые находят отражение в изменении режимов землепользования, разработке приемов адаптивного земледелия в условиях

радиоактивного загрязнения. В качестве индикатора радиоэкологической обстановки приводятся данные по загрязнению молока в личных хозяйствах населенных пунктов, расположенных на р.Теча в 60ые и 70-ые годы прошлого века, когда уже были приняты запретительные меры по использованию поймы р.Теча. Анализ архивных данных по загрязнению продуктов питания, полученных из ЛПХ (без адресной привязки), показал невозможность их использования для прогнозных оценок в силу значительных разбросов в уровнях загрязнения продуктов питания в одном и том же населенном пункте. Уже после аварии на ЧАЭС в Брянской области при проведении радиоэкологического мониторинга эти недостатки методики были учтены, выбирались представительные ЛПХ, для которых и проводился регулярный мониторинг.

Не могу согласиться с утверждением автора, что «пространственная неоднородность загрязнения радионуклидами системы реки Теча не является непосредственной причиной неоднородности формирования дозы внутреннего облучения у населения» - стр. 226 текста диссертации. В пределах поймы н.п. Муслюмово в 1995 г. на расстоянии десятка метров уровни загрязнения почвы по ^{137}Cs различались в сотни раз.

Седьмая глава «Методология геоэкодиагностики, моделирования и прогнозирования радиационной ситуации на территории биогеохимических провинций радиоактивных изотопов» вызывает ряд вопросов именно с позиций радиоэкологического моделирования. Н.Н. Казаченок анализирует возможность использования статистических методов для обработки данных радиоактивного загрязнения в условиях неоднородности (пятнистости). Все рассуждения автора строятся на использовании данных, подчиняющихся нормальному либо логнормальному закону распределения. Действительно, ранее для статистических прогнозов требовалось, чтобы исходные данные соответствовали нормальному либо логнормальному закону распределения. Однако в настоящее время возможности статистического моделирования существенно расширены (см. например, **Шитиков В. К. (2016) Экотоксикология и статистическое моделирование эффекта с использованием R.** - Электронная книга, адрес доступа: <http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Article/A42/Ecotox.htm>). Статистики научились работать с данными, подчиняющимся многим другим видам распределений.

В рассуждениях автора о том, как происходило формирование первичного загрязнения (причины разномасштабной пятнистости) не учитывается первооснова – это атмосферные процессы (задачи физики атмосферы) и роль «сухих» и «мокрых» выпадений в радиоактивном загрязнении. Это настолько сложные задачи для современной физики, что они не решены до сих пор.

В настоящее время существуют уже международные стандарты в радиоэкологическом моделировании, которые развиваются математиками и физиками. В их создании, биологи, экологи, безусловно, принимают участие (в основном в качестве экспертов либо пользователей), но они не являются законодателями мод в силу особенностей профессиональной подготовки. Представленное Н.Н. Казаченок перечисление модельных радиоэкологических систем, весьма ограниченное и не затрагивает основополагающие работы в этой области. Все отечественные разработки, созданные в России для сельскохозяйственной радиоэкологии (это работы С.В. Фесенко, Б. Яцало), не упомянуты.

В разделе 7.2 «Оценка риска получения сельскохозяйственной продукции» автором совсем не отмечены работы по созданию СППР (систем поддержки принятия решений с использованием географического пространственного анализа), которые были созданы более 20 лет назад (работы Б.И.Яцало, В.Г. Линника) для оценки риска загрязнения сельскохозяйственной продукции именно с учетом любых видов статистических распределений методом Монте-Карло. Эти модели были разработаны специально для учета неоднородности как радиоактивного загрязнения, так и ландшафтных условий миграции радионуклидов на различных масштабных уровнях.

Следует приветствовать использование автором байесовских методов статистического моделирования, как наиболее перспективного метода в целом в экологическом моделировании. Однако эта часть работы не выглядит полностью завершенной.

Интересная авторская попытка моделирования представлена в разделе 7.4 «Применение виртуальной машины для моделирования переноса радионуклидов и других ксенобиотиков в неоднородной среде». Однако связь с моделированием миграции радионуклидов в ландшафте или почве плохо просматривается – начиная с

названия подраздела. На рис.110 и 111 диссертации представлены результаты моделирования распределения радионуклида в трехслойной почве. В почве выделяются не слои, а почвенные горизонты. Сюда по всему, моделируется так называемое «равномерное» распределение, но не понятно, что такое «трехслойная почва» и какие же ее свойства? Кроме того (рис.112), какой изотоп моделируется на период 200 лет и учтен ли радиоактивный распад?

В **заключении** дан обзор полученных результатов и теоретических обобщений, показаны новизна, теоретическое и практическое значение работы.

Автореферат соответствует основным положениям диссертации и в полном объеме отражает основное содержание диссертационной работы, выводы и рекомендации.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, мнение о научной работе соискателя в целом. Диссертация Н.Н. Казаченок подводит итоги ее многолетней научно-исследовательской работы по проблемам геоэкологии, в ней решена проблема генезиса техногенных биогеохимических провинций радиоактивных изотопов. Текст и иллюстративный материал представлены на современном научном уровне, легко читаются и усваиваются. Однако нет карт выделенных биогеохимических провинций. Глава 4 изобилует излишними подробностями. Под номером 4 сформулирована задача «Оценить возможность применения стандартных статистических методов для анализа и прогнозирования развития радиационной ситуации...». Однако раздел «Выводы», в котором можно было бы найти ответ, к каким выводам пришел автор, отсутствует. Идет повтор рисунков: с номерами 84-87 на разных страницах. Например, рис.84 встречается на стр.200 и 223). Для рисунков 85-87 аналогично повторение. В списке литературы (номер 142) отсутствует. На рис.102 в легенде карты не указаны единицы измерения поверхностной активности цезия-137.

Указанные замечания носят частный характер и не умаляют достоинств диссертации.

Заключение о соответствии диссертации, критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертационная работа Казаченок Нины Николаевны «**Закономерности формирования техногенных биогеохимических провинций радиоактивных**

ИЗОТОПОВ», представленная на соискание ученой степени доктора географических наук по специальности 25.00.36 – Геоэкология (Науки о Земле), является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема, имеющая важное значение для познания закономерностей функционирования и пространственной организации биогеохимических провинций в условиях радиоактивного загрязнения, для мониторинга состояния и охраны окружающей среды, оптимизации землепользования с целью минимизации радиоэкологического риска.

По актуальности темы, научной новизне, теоретической и практической значимости, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций диссертация соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор Казаченок Н.Н. заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора географических наук по специальности 25.00.36 – Геоэкология (Науки о Земле).

Официальный оппонент – Линник Виталий Григорьевич, доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории эволюционной биогеохимии и геоэкологии, Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского» Российской академии наук, 119991, г. Москва, ул. Косыгина, д.19.



08.11.2019

Линник В.Г.

Виталий Григорьевич Линник
Заведующий лабораторией
эволюционной биогеохимии и геоэкологии
ИГАХИ РАН