

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Субботина Сергея Борисовича на тему "Влияние радиоактивного загрязнения подземных вод на радиэкологическую обстановку бывшего Семипалатинского испытательного полигона", представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности: 25.00.36- "Геозкология".

### Актуальность темы исследования

Необходимость объективной и всесторонней оценки радиационной обстановки на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП), где в течение 40 лет было проведено множество наземных и подземных ядерных взрывов, обусловлена тремя основными причинами. Во-первых, от результатов такой оценки напрямую зависит развязка сложнейшего клубка научных, социально-экономических, медико-биологических и природоохранных проблем, которые касаются территории СИП, его окрестности и Республики Казахстан. Во-вторых, мирная судьба СИП, "умолкшего" в 1989 г., поучительна для других ядерных держав. В-третьих, такая оценка дает ключ к более широкому пониманию масштабов возмущений биосферного круговорота нашей планеты, которые были спровоцированы множеством ядерных испытаний.

Цель рассматриваемой диссертации сводится к оценке воздействия подземных ядерных взрывов на развитие радиэкологической обстановки СИП. Поэтому *актуальность диссертации С.Б. Субботина более чем очевидна.*

### Степень обоснованности научных положений и выводов

*Структура и состав диссертации.* Диссертация С.Б. Субботина состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы из 81 наименований. Объем работы: 161 страница машинописного текста, 60 рисунков, 20 таблиц. Автореферат диссертации включает 22 страницы и отражает ее основное содержание и структуру.

*Объекты и материалы исследований.* Объектами исследования являются горные породы и подземные воды испытательных площадок СИП – "Дегелен" и "Балапан". Рассматриваемый *труд базируется на добротном фактическом материале многолетних полевых, лабораторных и теоретических исследований и безупречен в методическом отношении.* Эти исследования выполнены соискателем, который является ведущим сотрудником Института радиационной безопасности НЯЦ РК и имеет опыт дозиметрических и инженерно-геологических изысканий на территории СИП с 1979 г., а также в других районах Казахстана.

Результаты исследований диссертанта отражены в 18 научных публикациях и ряде отчетов.

**Во введении** четко и лаконично обоснована актуальность исследований, сформулированы их цель и задачи, обсуждается научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационной работы. Автор основное внимание уделяет детальному изучению испытательных площадок СИП "Дегелен" и "Балапан" и решает четыре основные задачи: 1) анализ состояния подземной гидросферы; 2) экспериментальные исследования закономерностей распределения радионуклидов  $^3\text{H}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в подземных водах; 3) изучение влияния природных и искусственных сорбционных систем на миграцию техногенных радионуклидов с подземными водами; 4) определение ореолов радиоактивного загрязнения подземных вод за пределами испытательных площадок.

*Правомерность и научная строгость постановки этих задач не вызывают сомнения.*

**В первой главе** освещена изученность вопросов миграции радионуклидов в водной среде, сорбционных свойств горных пород, распространения ореолов радиоактивного загрязнения в зависимости от природных и техногенных факторов. Кроме того приведены сведения о СИП. *Таким образом, соискатель успешно справился с задачей исторического обзора сведений по теме диссертации.*

**Вторая глава** состоит из двух разделов. Первый раздел содержит описание методики отбора, подготовки и радиохимического анализа проб подземных вод в лаборатории Института радиационной безопасности и экологии национального ядерного центра Республики Казахстан, которая оснащена современными техническими средствами, прошедшими метрологическую поверку. Добротность методики отбора, подготовки и лабораторного радиохимического

анализа проб подземных вод, которую использует *диссертант, подтверждает высокое качество научных исследований и полученных результатов по определению содержания радионуклидов.*

Второй раздел характеризует геологическое строение и гидрогеологические условия формирования радиационной обстановки на площадках "Дегелен" и "Балапан".

В горном массиве Дегелен подавляющее число ПЯВ, проведенных в штольнях, не привело к истечению в атмосферу инертных газов, в ряде случаев такие прорывы были незначительными и только три ПЯВ сопровождалось аварийными выбросами, один из которых происходил с возгоранием парообразных радиоактивных продуктов. На данный момент преобладающими активностями обладают  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , но в долговременной перспективе радиологическую обстановку будут формировать  $^{99}\text{Tc}$  и  $^{151}\text{Sm}$ . Показано также, что в зонах ПЯВ встречаются радионуклиды наведенной активности  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ . Но особое внимание диссертант уделяет продуктам активации трития. Он полагает, что радиоактивное загрязнение подземных вод определяют в основном такие радионуклиды, как  $^3\text{H}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$ . Не исключено также обнаружение в подземных водах  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{99}\text{Tc}$  и т.д. Подчеркнуто, что обводненность горного массива Дегелен зависит от физико-механических параметров центральных зон ПЯВ, которые, по мнению соискателя, имеют сферически-зональное распределение зон дробления и трещиноватости, осложнены столбом обрушения горных пород.

На площадке «Балапан» подземные воды развиты в основном в зонах выветривания коренных пород и в зонах разрывных нарушений. Гипоцентры ПЯВ в скважинах расположены здесь значительно ниже основных водоносных горизонтов в монолитных безводных породах. Диссертант предполагает, что полость ПЯВ может проявлять себя как длительно действующий «парогенератор», подобный природным гидротермам. Радиоактивное загрязнение подземных вод возможно при наличии гидравлической связи между водоносным горизонтом и сформированными при ПЯВ зонами необратимого деформирования горных пород.

*Таким образом, на основе анализа региональных геолого-структурных и гидрогеологических условий площадок "Дегелен" и "Балапан" соискатель убедительно выявил особенности формирования радиационной обстановки, которые были спровоцированы ПЯВ.*

**Третья глава** посвящена оценке радиоактивного загрязнения подземных вод на площадках "Дегелен" и "Балапан" и за их пределами. Основанием тому служат результаты экспериментальных и лабораторных исследований пространственно-временного распределения  $^3\text{H}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в подземных водах. Особое внимание уделено изучению особенностей миграции трития с подземными водами в реку Шаган.

На площадке "Дегелен" данные многолетнего мониторинга за водопритоками из штолен, на приустьевых площадках, расходом родников и уровнем подземных вод в скважинах показали, что из года в год вынос радионуклидов остается здесь относительно стабильным. Ежегодно в среднем выносятся  $6 \cdot 10^{11}$  Бк –  $^{137}\text{Cs}$ ;  $5 \cdot 10^{11}$  Бк –  $^{90}\text{Sr}$  и  $2 \cdot 10^{11}$  кБк –  $^3\text{H}$ . Наибольшие концентрации  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в воде обнаруживаются вблизи порталов штолен. Радионуклиды в зонах ПЯВ упорядочены автором по убыванию их миграционной способности:  $^3\text{H} > ^{90}\text{Sr} > ^{137}\text{Cs} > ^{239+240}\text{Pu}$ . Установлено, что суммарное ежемесячное содержание  $^{90}\text{Sr}$  в пробах воды, отобранных на приустьевых площадках штолен, зависит от общего водопритока на площадке «Дегелен». Повышенные концентрации трития и  $^{90}\text{Sr}$  зарегистрированы здесь и в родниках, в подземных водах отмечено только превышение допустимых значений для питьевой воды по содержанию трития. Ореолы радиоактивного загрязнения подземных вод за пределами площадки «Дегелен» преимущественно локализованы в пределах долин пересыхающих ручьев, стекающих по склонам горного массива.

На площадке «Балапан» радиационный мониторинг подземных вод проводился в период с 2004 г. по 2011 г. на 10 участках. Повсеместно установлено неравномерное радиоактивное загрязнение основных водоносных горизонтов, приуроченных к зонам выветривания и тектонической трещиноватости коренных пород. Высокие концентрации трития до 55-560 кБк/кг, а также заметные содержания  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  зарегистрированы в пробах воды из наблюдательных скважин, расположенных в ближней зоне ПЯВ, на эпицентральной

расстоянии до 0,4 км на участках «Заречье» и юго-западном соответственно. Максимальное радиоактивное загрязнение подземных вод прослежено на участках разрывных нарушений, расположенных вблизи зон ПЯВ. В частности, на участках «Восточный» (по профилю скважин 1203-1414) и «Северный» концентрация трития в водоносном горизонте, развитом в зоне влияния северной ветви Жананской зоны смятия, достигает 3044-4764 кБк/кг. На северо-восточном участке в пределах разлома, субпараллельного Жананской зоне смятия, содержание трития уменьшается до 390 кБк/кг. В подземных водах, распространенных в углефицированных отложениях, приуроченных к Чинраузскому разлому, протягивающемуся в северо-западном направлении (участок 4), концентрация трития не превышает 160 кБк/кг. Отмечено также, что на правом берегу реки Чаган, вдоль восточной границы площадки «Балапан», прослежено уменьшение содержания трития в подземных водах от 140 кБк/кг, зарегистрированных в 2009 г., до 9,5-10 кБк/л в 2011 г.

*Тем самым в третьей главе соискатель весомо обосновал первое, защищаемое им положение. Оно сводится к точной оценке последствий воздействия ПЯВ на состояние подземных вод СИП. Однозначно установлено, что радиоактивное загрязнение подземных вод техногенными радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  и тритием продолжается и имеет относительно стабильный характер.*

В четвертой главе решены две основные задачи. Первая из них сводится к лабораторному изучению сорбционных свойств горных пород СИП относительно радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Эти исследования проводились в модельных растворах и растворах, искусственно созданных на основе радиоактивно загрязненных образцов, отобранных из "боевых" штолен. Установлено, что наибольшей сорбционной способностью по отношению к  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  обладает альбитизированный гранит по сравнению с кварцевым порфиром и гранитом.  $^{137}\text{Cs}$ , сорбированный гранитом, находится, в основном, в виде доступной формы. Напротив, в диорите преобладает фиксированная форма  $^{137}\text{Cs}$ .

Вторая задача включает прогнозную оценку радиоактивного загрязнения подземных вод внутри и за пределами площадок "Дегелен" и "Балапан" с использованием современных методов и программных средств численного анализа, разработанных во ФГУП НПО Радиевый институт имени В.Г. Хлопина под руководством научного руководителя диссертации доктора химических наук Ю.В. Дубасова. Эти расчеты базируются на ряде допущений о феноменологии и строении зон ПЯВ.

Таким образом, в рамках этих допущений показано, что в ближайшее время за пределами горного массива Дегелен увеличение содержания  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в подземных водах не ожидается. Основное радиоактивное загрязнение подземных вод может быть связано с тритием, но относительная стабилизация концентраций трития в подземных водах на протяжении последнего десятилетия косвенно свидетельствует об установлении квазистационарного режима фильтрации, которое способствует постепенному снижению содержания трития в соответствии со временем его радиоактивного распада.

Результаты численных расчетов отражены на серии карт исходных и расчетных пьезометрических уровней, схемах скоростей и траекторий движения подземных вод площадки "Балапан". Эти построения свидетельствуют о возможной миграции  $^{90}\text{Sr}$  в северном и северо-восточном направлениях в сочетании с сорбцией данного радионуклида в зонах необратимого деформирования горных пород, испытавших воздействие ПЯВ. По мнению соискателя, определенную опасность на восточной окраине площадки «Балапан» представляет скрытая подземная разгрузка радиоактивно загрязненных подземных вод по зонам разрывных нарушений под маломощный чехол донных отложений реки Чаган.

Таким образом, в четвертой главе *соискатель привел убедительные доказательства еще двух защищаемых им положений.* Во-первых, он впервые выполнил подсчет запасов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  и разработал детальную схему их адсорбции грунтами из подземных вод на площадках "Дегелен" и "Балапан". В научном отношении этот результат интересен тем, что позволяет отчетливо выявить особенности встраивания этих радионуклидов в экосистему территории СИП. С практической точки зрения такая схема, несомненно, должна служить весомым подспорьем в деятельности природоохранных служб.

Во-вторых, диссертант убедительно продемонстрировал перспективы и проблемы применения новейших средств численного прогноза радиэкологической обстановки на территории СИП. Опираясь на результаты таких расчетов, соискатель утверждает, что в обозримом будущем увеличения концентрации радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  выше нормативных значений для питьевой воды в подземных водах за границами испытательных площадок «Дегелен» и «Балапан» не будет. Основным радионуклидом в подземных водах является тритий.

**В разделе «Выводы»** сформулированы восемь положений, сущность которых раскрыта в предыдущих разделах отзыва. *Обоснованность этих выводов несомненна.*

**Научная новизна** диссертационной работы определяется, прежде всего, полученными результатами изучения миграции радионуклидов с подземными водами на основных технологических площадках «Дегелен» и «Балапан», контролирующими радиэкологическую обстановку СИП.

**Практическая значимость** диссертации Субботина С.Б. состоит в том, что полученные им результаты позволяют:

- уточнить и повысить эффективность системы мониторинга радиационной обстановки на СИП;
- развязать во многом самый сложный клубок социально-экономических и природоохранных проблем, связанных с освоением территории и богатейшего ресурсного потенциала недр СИП;
- использовать накопленный на СИП опыт при ликвидации опасных последствий ядерных испытаний и радиационных аварий в других регионах, а также на предприятиях атомной промышленности и ядерно-энергетических комплексов.

#### **Замечания по диссертации**

Рассматриваемая диссертация не свободна от недостатков и спорных построений. Эти замечания сгруппированы оппонентом по четырем основным позициям: формальной, методической, геологической и прогнозной.

##### **1. Формальные замечания к структуре диссертации.**

1.1. Рубрики заголовков в "Содержании", тексте в автореферате диссертации не приведены в соответствие. Например, на стр. 92 упомянут раздел 4.1.2. "Результаты и обсуждение", которого нет ни в "Содержании", ни в автореферате; на стр. 112 возникает заголовок крупным шрифтом "ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ", также не нашедший отражения в "Содержании".

1.2. В списке литературы, который приведен в диссертации и автореферате не указан ряд важных и интересных работ С.Б. Субботина по теме его диссертации, которые опубликованы в престижных периодических изданиях. Например, не указана его статья с соавторами в журнале Journal of Environmental Radioactivity [Aidarkhanov et al., 2013], не отмечен ряд статей, опубликованных в Вестнике НЯЦ РК.

##### **2. Замечания к методике исследований.**

2.1. *Диссертант упустил из виду результаты ревизии состава радиоактивных продуктов ПЯВ на СИП, а также на ядерных полигонах в штате Невада (США), на островах Тихого океана (Франция) и в зонах промышленных ПЯВ*, которые были проведены на территории бывшего СССР и в США.

2.2. Автор не приводит обоснования того, что исследованный им набор техногенных радионуклидов  $^3\text{H}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  является достаточно полным и добротным показателем радиэкологической обстановки на СИП.

2.3. *В разделе диссертации 1.1 не освещены в полной мере сведения о поведении радиоактивных продуктов ПЯВ в горных породах.* Здесь соискатель акцентировал внимание на изученности скорости диффузии Sr и Cs и поведения микрокомпонентов только в почвах. Вместе с тем желательно было бы оценить множество других форм взаимодействия радионуклидов с подземными водами. Т.е. помимо эффекта сорбции радионуклидов вмещающей средой следовало бы учесть также процессы бионакопления, комплексообразования, переноса коллоидами, растворения-осаждения радионуклидов в подземных водах и т.д.

2.4. По мнению оппонента, начальные условия миграции радионуклидов из полостей ПЯВ не

могут быть точно определены без понимания того, **что плутоний обладает** чрезвычайно высокой химической активностью в расплавленном состоянии и разрушает практически любую среду, включая стенки полости ПЯВ.

### **3. О геолого-структурных и геодинамических условиях площадок СИП.**

3.1. К сожалению, в диссертационной работе **не приведены в полном объеме данные о блоковом строении массива горных пород СИП, его напряженно-деформированном состоянии, сейсмичности, а также данные о газовых аномалиях в окрестности боевых скважин 1086, 1326, 1223, 1309, 1234 и 1322**, которые были получены Субботиным С.Б. вместе с коллегами при обследовании площадок "Балапан" и "Сары-Узень".

3.2. В диссертации желательным было бы **раскрыть природу двух примечательных электропроводящих зон в массиве горных пород Балапан** [Шайторов и др., 2008]. Одна из них расположена между высокоомной осадочно-метаморфогенной толщей пород палеозоя и электропроводящим комплексом юрских отложений. Эта зона отличается повышенной обводненностью и геодинамической активностью. Причины этого явления остаются пока неясными.

Вторая электропроводящая зона установлена в окрестности разлома. Для горных пород этой зоны характерна их повышенная поляризуемость, обусловленная наличием угленосных толщ. Показателен в этом отношении ПЯВ в скважине "Глубокая". Здесь через 17 лет после взрыва произошел мощный выброс газообразных продуктов и сформировалась воронка проседания грунта глубиной до 30 м и диаметром до 300 м. Но своеобразие радиационной, геодинамической и геотермической обстановок в зоне этого ПЯВ в диссертации не раскрыто.

3.3. **Диссертант недооценивает реальные геологические предпосылки взаимодействия вод "Атомного озера" с полостями ПЯВ площадки "Балапан"**, обусловленные возможным разрушением глинистого водоупора в основании этого озера в результате воздействия ПЯВ в связи с формированием систем трещин естественного и техногенного происхождения.

3.4. **Диссертант недооценивает двойственный пластово-трещинный характер очага разгрузки загрязненных тритием напорных подземных вод в реку Шаган в створе с площадкой "Балапан"**. С одной стороны, режим этой разгрузки определяется условиями залегания водоупорной толщи глин неогена, а с другой, - судя по характеру распределения содержания трития в подземных водах, регулируется сложной системой трещин, как элементов гидрогеологического массива.

### **4. О прогнозных оценках развития радиационной обстановки на СИП**

4.1. **Диссертант излишне абсолютизирует относительно высокую сорбционную способность горных пород в районе СИП.**

4.2. **В численной схеме прогнозных расчетов миграции радионуклидов при выборе начальных и граничных условий в системе уравнений (10) соискатель не учел три основных обстоятельства.**

Во-первых, эти условия определены в рамках ошибочной схемы феноменологии ПЯВ, которая была разработана командой Э.Тэллера при проведении первых ПЯВ на полигоне Невада и не учитывала своеобразие поствзрывных геологических процессов, особенно тех которые обладают значительной длительностью, исчисляемую годами, десятилетиями и, не исключено, столетиями.

Во-вторых, при определении этих условий не учтен богатейший "багаж" накопленных экспериментальных данных, которые уже имеются в распоряжении диссертанта.

В-третьих, соискатель, к сожалению, не знаком с негативным опытом подобного математического моделирования миграции радионуклидов из зон ПЯВ "Гном" в США, ПЯВ "Кристалл" в Якутии, ПЯВ "Глобус-1" в Ивановской области и ряде других объектах. В окрестности этих зон ПЯВ сейчас зафиксированы обширные ореолы распространения радиоактивных продуктов ПЯВ с подземными водами. Размеры и скорость распространения этих ореолов оказались на порядки больше тех, которые определялись путем "математического моделирования". **Эта глава могла стать более весомой, если бы расчетным путем было показано, что территория СИП является поставщиком в биосферный круговорот нашей планеты сверхвысокого количества трития и других техногенных радионуклидов, которое на порядки превышает их кларковые содержания.**

### Заключение

Все вышеперечисленные замечания не снижают общий высокий научный уровень работы и направлены лишь на конструктивное решение задач по обеспечению радиационной безопасности СИП.

Диссертационная работа С.Б. Субботина «Влияние радиоактивного загрязнения подземных вод на радиоэкологическую обстановку бывшего Семипалатинского полигона» выполнена на высоком профессиональном уровне, обладает научной новизной, имеет важное практическое значение и соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор - Субботин Сергей Борисович достоин присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.36 — «Геэкология».

Старший научный сотрудник  
Института динамики геосфер РАН,  
кандидат геолого-минералогических наук



Голубов Борис Николаевич

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт динамики геосфер  
Российской академии наук (ИДГ РАН)  
119334 г. Москва, Ленинский проспект, д.38, корпус 1  
Тел. 8-495-939-79-52, моб. 8-906-073-75-89.

Подпись Голубова Бориса Николаевича заверяю.  
Зам.директора ИДГ РАН  
06.04.2015 г.



Турунтаев Сергей Борисович

