

УДК 550.83:621.039.9

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ИНСПЕКЦИИ НА МЕСТЕ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Ботов А.А., Романов А.М.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Для развития методов геофизического контроля в целях инспекции на месте, особенно на площадках с ограниченным доступом, вызывающих подозрения в проведении ядерного испытания, предлагается использовать новое представление о взаимодействии горных пород и вод. Согласно этому представлению можно установить зоны выщелачивания, миграции и отложения веществ (в том числе и радиоактивных) в реальных геологических условиях дистанционно электроразведочными методами. Для выявления гидродинамических структур, проходящих через очаги ПЯВ, используются замеры эксхалляции трития – основного маркера распространения радиоактивного загрязнения из очагов ПЯВ. Правомерность этих представлений доказана теоретически, экспериментально и геофизическими съемками в реальных условиях Семипалатинского испытательного полигона

Инспекция на месте является инструментом выявления и доказательства возможного нарушения государством обязательств по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) [1]. Ядерное испытание может быть замаскировано или иметь маломощный заряд, что затрудняет, а иногда делает невозможным, получение свидетельств, необходимых для подтверждения нарушения ДВЗЯИ. Проведение ядерных взрывов под землей существенно ослабляет проявление радиоактивного загрязнения на дневной поверхности – мощный слой горных пород, перекрывающий очаг ПЯВ, препятствует поступлению продуктов ядерного взрыва на дневную поверхность. В этих условиях Организация по ДВЗЯИ рекомендует проводить оценку территории, где могло произойти испытание, комплексированием методов, включающим сейсморазведку, магниторазведку, гравиразведку, георадиолокацию, электроразведку и др. [1]. Эти методы, выявляющие вещественно-структурные изменения недр при проведении ПЯВ, имеют существенно большую глубинность исследования по сравнению с радиометрическими методами, но не устанавливают непосредственно наличие радиоактивного загрязнения и могут быть недостаточно эффективными. Поэтому актуальным является совершенствование и развитие методик геофизического контроля применительно к задачам инспекции на месте. Особую актуальность развитие таких исследований имеет при ограниченном доступе к площадкам, вызывающим подозрения в проведении на них ядерных испытаний.

Предлагается использовать новое представление о взаимодействии горных пород и вод, согласно которому можно установить зоны выщелачивания, миграции и отложения веществ (в том числе и радиоактивных) в реальных геологических условиях с привлечением электроразведочных методов [2, 3]. При этом, изучение структурных элементов недр основывается преимущественно на данных электроразведки по кажущемуся электрическому сопротивлению;

изучение потоков подземных вод – на данных электроразведки методом естественного электрического поля. Установления связи структур загрязненных вод с очагами подземных ядерных взрывов, основывается на замерах эксхалляции газового трития – основного маркера распространения радиоактивного загрязнения.

Правомерность предлагаемого подхода рассмотрена на примере исследований по 16 произвольно выбранным скважинам площадки Балапан СИП, где производились подземные ядерные взрывы [2].

На первом этапе проведено изучение дневной поверхности в районе устья испытательных скважин с использованием космических снимков (рисунок 1).

Спутниковые съемки в ~80 % случаев выявляют участки, которые можно отнести к местам проведения ПЯВ. Однако, несмотря на этот достаточно высокий уровень обнаружения, в случае использования особой маскировки, вполне возможен пропуск места проведения ПЯВ. Так, например, при проведении учений «Интегрированный полевой эксперимент-2008» (ИПЭ-2008) на СИП [4, 5] благодаря специальной маскировке, выполненной в рамках подготовки сценария учений, место проведенного квазиядерного (тротилового) взрыва командой инспекторов не было обнаружено.

Для доказательства связи локальных особенностей, выделенных по результатам дешифрирования космоснимков участков с ПЯВ, на следующем, 2 этапе, проведена площадная гамма-съемка на 13 участках (рисунок 2). Аномальные повышения радиоактивности выявлены на 3 участках из 13 обследованных. Вблизи оголовков двух скважин: № 1053 и № 1058, – локализованы точечные аномалии (локальное загрязнение, не представляющее существенной радиационной опасности); вблизи скважины № 1301 локализован мощный радиометрический ореол, отходящий в южном направлении (результат нештатной ситуации – выброса при взрыве материалов закладки и обсадки на поверхность).

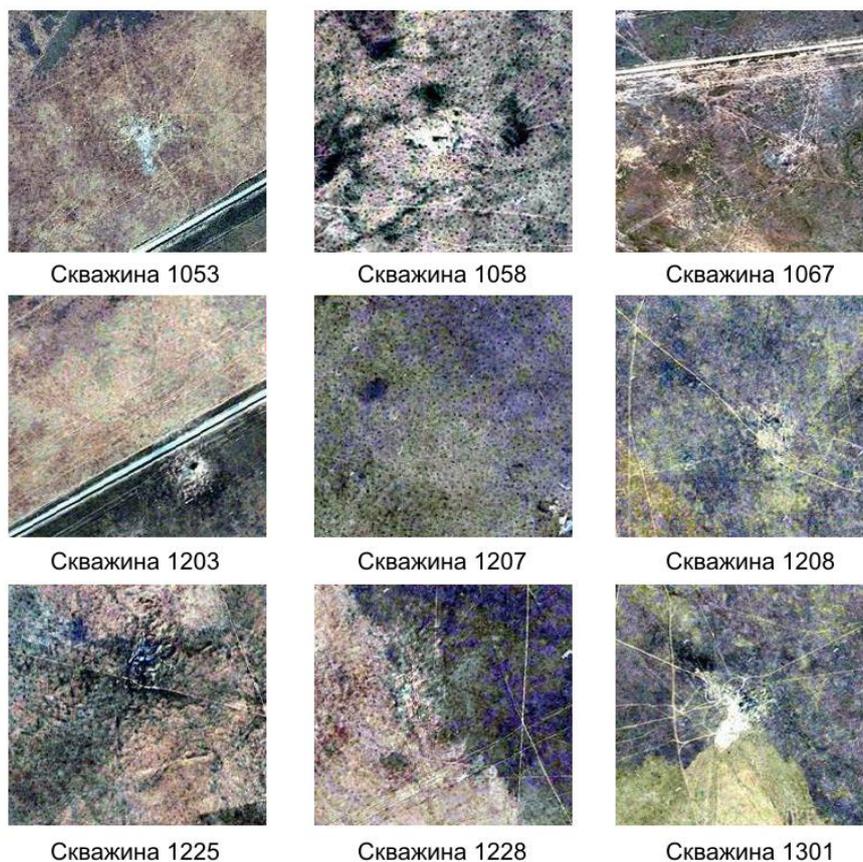


Рисунок 1. Примеры проявленности ПЯВ на космоснимках. Площадка Балапан СИП

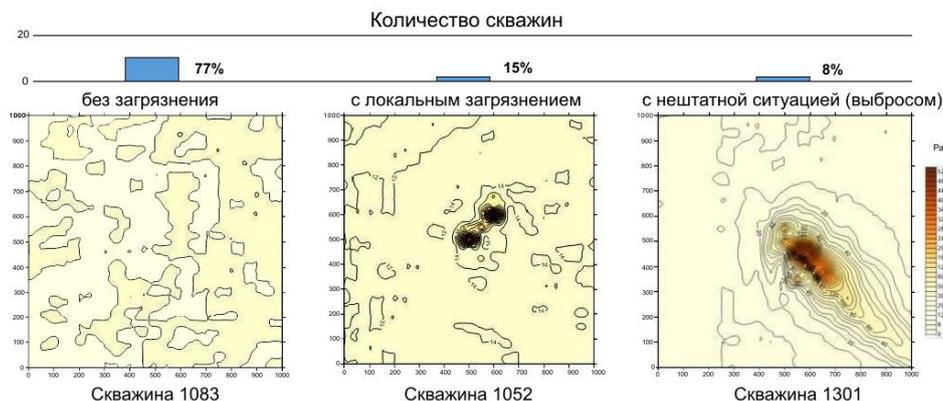


Рисунок 2. Результаты гамма-съемки на приустьевых участках скважин ПЯВ. Площадка Балапан СИП

Приведенный пример позволяет ориентировочно считать, что в 3 случаях из 4, на дневной поверхности аномальные повышения радиоактивности, вызванные выбросом техногенных радионуклидов, не проявляются. Этот же вывод может быть отнесен и к данным радиохимического и радиогидрогеохимического опробования [3].

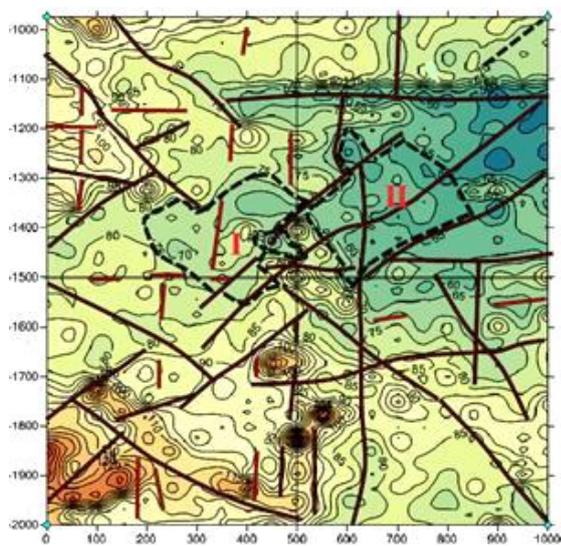
На следующем этапе работ использованы методы электроразведки для выявления путей миграции техногенных радионуклидов в недрах на участках ПЯВ

[3]. В качестве примера приводятся результаты исследований по скважине № 1058 (рисунок 3).

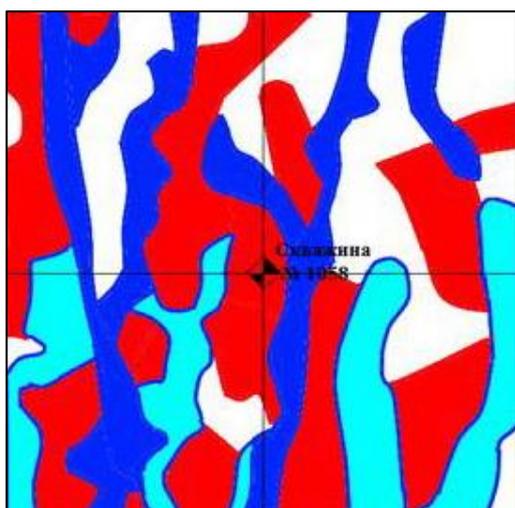
Как следует из рисунка 3, на приустевом участке скв. 1058, отчетливо проявлены техногенные изменения дневной поверхности, специфичные для ПЯВ в скважинах. Наиболее отчетливо эти особенности проявлены в распределениях кажущегося электрического сопротивления (КС) и потенциала естественного поля (ЕП), полученных при съемках методами срединного градиента и естественного электрического поля (рисунок 4).



Рисунок 3. Приустьевой участок скважины №1058. Площадка Балапан СИП



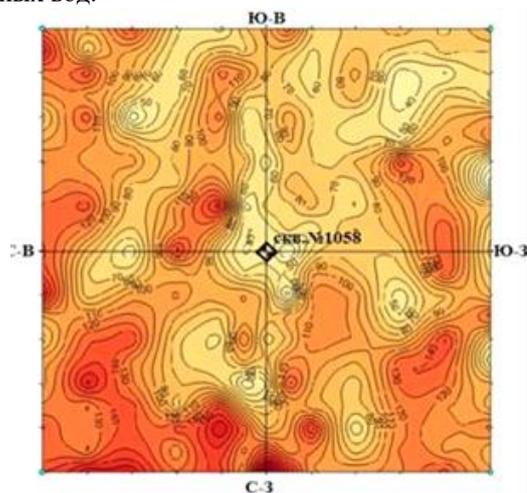
а) КС



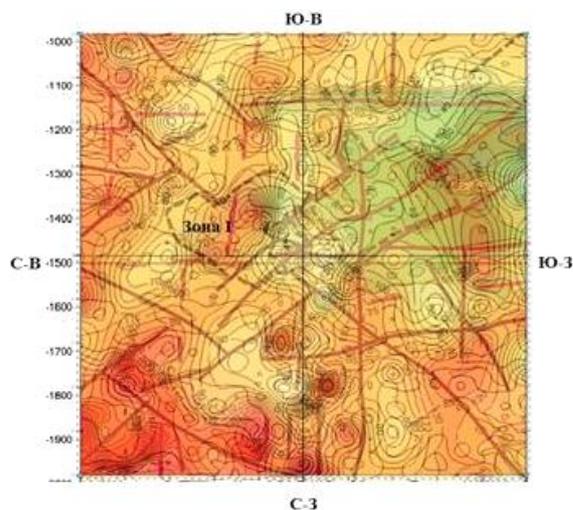
б) ЕП

Рисунок 4. Результаты электроразведочных методов на участке боевой скважины № 1058

По данным электроразведки методом срединного градиента (рисунок 4-а) в центре участка выделяется зона пониженных значений КС (темно зеленый цвет), на периферии участка – крупные зоны повышенных значений КС (желтый, коричневый цвет). Таким образом в центре участка проявлена зона дезинтеграции коренных пород, сформированная в результате взрыва. Отчетливо проявлены линейные структуры, интерпретируемые как природные тектонические нарушения, подновленные взрывом (рисунок 4-а). Эти зоны могут быть возможными путями движения подземных вод.



а) карта эксхалляции газового трития



б) совмещение карт КС и эксхалляции газового трития

Рисунок 5. Результаты съемки эксхалляции газового трития на участке боевой скважины № 1058

На рисунке 4-б приведена схема интерпретации результатов электроразведки методом ЕП, устанавливающая наличие подземных водных потоков: темно синим цветом выделены зоны наиболее интенсивного движения вод, красным – зоны застоя [2, 3]. Для установления наличие радионуклидов в выделенных зонах приведены результаты съемки эксхалляции газового трития (рисунок 5). Проявлены линейно

вытянутые зоны аномалий активности трития, коррелирующие с зонами экстремумов ЕП (потенциала течения).

Согласно исследованиям ИРБиЭ НЯЦ РК, тритий является наиболее распространенным маркером потоков вод, загрязненных радионуклидами. Особенное различие: данные ИРБиЭ НЯЦ РК относятся к водному тритию, а данные РГП ИГИ – к газовому тритию. Газовая фаза имеет преимущественное значение при выделении подземных зон загрязнения, т.к. уверенно обнаруживается на дневной поверхности в отличие от водной фазы [3].

#### ВЫВОДЫ

Представленные результаты позволяют утверждать, что методы структурной геофизики в сочетании со съемкой эксхалляции газового трития могут

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Инспекция на месте // Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. – Вена, Австрия: ПК ОДВЗЯИ: – 2001. – С.33–43. Электронный ресурс: [https://www.ctbto.org/fileadmin/user\\_upload/legal/treaty\\_text\\_Russian.pdf](https://www.ctbto.org/fileadmin/user_upload/legal/treaty_text_Russian.pdf)
2. Обоснование применения геофизических методов для контроля миграции радионуклидов на Семипалатинском испытательном полигоне: отчет о НИР (заключительный)/ Институт геофизических исследований (РГП ИГИ); рук. А.М. Романов. – Курчатов, 2017. – 270 с. – НЦНТИ; № ГР 0115РК02350. – Инв. № 0217РК01358.
3. Физико-геологическая характеристика миграции радионуклидов / А.М. Романов. – Курчатов: РГП ИГИ. – 2017 – 110 с.
4. Haupt, K. Looking for the nuclear needle in the haystack: the integrated Field exercise 08 in Kazakhstan / K.Haupt, T. Mützelburg // Spectrum. – Viena: СТВТО. – 2008. – is. 11. – P. 14–16.
5. Testing the Treaty's on-site inspection capabilities: The Integrated Field Exercise 08 by Oliver Meier and Andreas Persbo Spectrum.- Viena: СТВТО. – 2009. – is. 12. – P. 21–23.

дистанционно выявлять зоны загрязнения недр техногенными радионуклидами. В том числе, образованными при подземных ядерных взрывах. Помимо установления наличия взрывов возможно также определение наиболее вероятного эпицентра ПЯВ.

Полагается, что комплекс методов, представленный электроразведкой КС и ЕП в сочетании со съемкой эксхалляции газового трития может использоваться при инспекции на местах предполагаемых подземных ядерных взрывов.

*Исследования выполнены в рамках гранта МОН РК №1758/ГФ4 «Обоснование применения геофизических методов для контроля миграции радионуклидов Семипалатинском испытательном полигоне» (2015–2017 гг.).*

*Научный руководитель Романов А.М., к.г.-м.н.*

### ЯДРОЛЫҚ СЫНАҚТАР ОРЫНДАРЫНДАҒЫ ИНСПЕКЦИЯ ҮШІН КЕШЕНДІ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРДІ ПАЙДАЛАНУ

А.А. Ботов, А.М. Романов

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Орындағы инспекция мақсатында геофизикалық бақылау әдістерін дамыту және жетілдіру үшін, әсіресе ядролық сынақтарды өткізуге күдік тудыратын, рұқсаты шектелген алаңдарда тау жыныстары мен сулардың өзара әрекеттестігінің жаңа көрінісін пайдалану ұсынылады. Осы көрініске сәйкес электрмен барлау әдістері арқылы қашықтан нақты геологиялық жағдайда сілтісіздендіру зоналарын, заттардың жылыстауы және шөгінділерін (оның ішінде радиоактивтілерінде) белгілеуге болады. ЖЯЖ ошақтары арқылы өтетін гидродинамикалық құрылымдарды айқындау үшін тритий эксхалляциясының өлшеулері пайдаланылады – ЖЯЖ ошақтарынан радиоактивті ластанудың таралуының негізгі маркері. Осы ұсынымдардың орындылығы Семей сынау полигонының нақты жағдайында теория жүзінде, эксперимент ретінде және геофизикалық түсірімдермен дәлелденген.

### APPLICATION OF INTEGRATED GEOPHYSICAL RESEARCH FOR ON-SITE INSPECTION OF NUCLEAR TESTS

A.A. Botov, A.M. Romanov

*Institute of Geophysical Research Kurchatov, Kazakhstan*

In order to improve and develop methods of geophysical control for the purposes of on-site inspection, especially at the sites with limited access, that are suspicious in implementation of a nuclear test, it is proposed to use a new view on interaction of rocks and water. According to this view, one can establish leached zones, migration zones and deposits of matter (including radioactive one) in real geological conditions remotely by using electrical survey methods. In order to detect hydrodynamic structures that pass via UNE foci, tritium exhalation measurements are used – the main marker of distribution of radioactive contamination from UNE foci. The eligibility of these views has been proved theoretically, experimentally and by geophysical surveys in real conditions of Semipalatinsk Test Site.