



УДК 550.34

© А. И. Андреев, 2008

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ МЕСТ ВЫХОДА ГАЗООБРАЗНЫХ
РАДИОАКТИВНЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ ГОРНОГО МАССИВА
НА ДНЕВНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ПО ПРОЯВЛЕНИЯМ
ТЕПЛОЙ АНОМАЛИИ В ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЕ
ПОДЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА**

Андреев А. И. – д-р техн. наук, проф. кафедры ««Экология, ресурсопользование и безопасность жизнедеятельности»» (ДВГУПС)

В статье рассматриваются радиологические последствия подземных ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне. Отмечается, что в районе эпицентральной зоны подземного ядерного взрыва проявляются долговременные термальные эффекты – тепловые аномалии. Обсуждаются положения, связывающие проявления тепловой аномалии с выходом газообразных радиоактивных продуктов из горного массива на дневную поверхность.

Radiological consequences of underground nuclear explosions on the Semipalatinsk Nuclear Testside are considered. It is noted that permanent thermal effects, known as heat anomalies, reveal themselves on the territory belonging to the epicentral zone of the underground nuclear explosion. The link between the manifestation of heat anomalies and the release of gaseous radioactive products from mountain rocks to the day surface are discussed..

В настоящее время продолжается изучение воздействия подземных ядерных взрывов (ПЯВ) на окружающую среду [1–5].

Безусловную научную и практическую важность представляют материалы, связанные с мониторингом проведенных ПЯВ и их влиянием на структурное и физическое состояние прилегающих горных пород, а также воздействием на экологическое состояние окружающей природной среды.

В феврале 1997 г., по данным дистанционного зондирования в инфракрасном (ИК) диапазоне со спутников серии NOAA в районе Семипалатинского испытательного полигона (СИП) было выделено не-

сколько участков, температура которых более чем на 10 °С превышала общий фон подстилающей поверхности. Последующий мониторинг температурного режима этого района подтвердил наличие устойчивых температурных аномалий (ТА).

Как отмечено в работе [1], можно с уверенностью утверждать, что СИПа находится в зоне повышенной термальной активности. Ранний сход снега и высокая температура на поверхности земли в этом районе, скорее всего, являются следствием глубинных термальных процессов, возможно, инициированных многочисленными ядерными взрывами.

По мнению авторов работы [2], на территории СИПа в местах выпадения радионуклидов при сильном увлажнении почвы приходит в действие механизм “тлеющих” реакций деления ядер. Тепловая энергия, образующаяся при “тлеющих” реакциях деления ядер, способствует образованию площадной ТА, появляющейся в дни интенсивного выпадения осадков или таяния снежного покрова.

Внешние контуры ТА, наблюдаемые по космическим снимкам в районе СИПа в разные дни, динамично меняются. Это может говорить о газообразной сущности, проявляющихся ТА. Источником восходящих газообразных тепловых потоков могут являться разогретые газообразные продукты радиолиза и “тлеющих” реакций деления “горячих” частиц в сильно увлажнённом почвенном слое. К газообразным продуктам радиолиза можно отнести метан (CH₄) и другие газы, которые образуются из элементов, входящих в состав почвенного слоя земной поверхности территории СИПа. К газообразным продуктам “тлеющих” реакций деления ядер “горячих” частиц можно отнести криптон (Kr – 85), иод (I – 131), ксенон (Xe – 133) и другие газообразные изотопы [2].

С целью выявления ТА в районе СИПа на основе анализа данных, полученных по результатам космического зондирования, специалистами Национального ядерного центра Республики Казахстан были проведены комплексные исследования ТА на территории СИПа [3].

Прямые измерения температуры грунтов были выполнены на пяти участках в сентябре 2001 г.. Два из них располагались в пределах максимальной аномалии, ещё два – вне аномалии и один участок – на границе аномалии. Участки измерений выбирались максимально похожими по ландшафту, строению и составу грунта. Измерения проводились с помощью температурных зондов, которые размещались в забое шпура на глубине 1 м от дневной поверхности.

В июле 2003 г. на площадке Балапан СИПа, находящейся вне пределов региональной ТА, сроком на 1 год была установлена мониторинговая станция для измерения сезонных колебаний температуры грунта ниже уровня дневной поверхности. Аналогичная станция была уста-



новлена в пределах ТА в октябре 2003 г.. Станции были специально установлены для проведения данного эксперимента. Датчики мониторинговых станций устанавливались в воздушном пространстве скважин диаметром 150 мм на глубину до 8 м.

По результатам проведённых исследований автор работы [3] сделал вывод, что температурная аномалия, выявленная по космическим снимкам СИПа, не подтверждается наземными измерениями температуры грунтов, выполненными в её пределах.

В то же время данные по термике котловых полостей ПЯВ [4-5] показывают, что они многие годы имеют высокую внутреннюю температуру, медленно убывающую в течение времени. Котловая полость после проведения ядерного взрыва не является абсолютно герметичной. Наличие техногенных воздействий: зоны трещиноватости, столба обрушения, других тектонических нарушений – делает её доступной для воздушных потоков и, следовательно, для выноса тепла и присутствующих в полости газов на дневную поверхность.

Для исследования интенсивности и конфигурации ТА на дневной поверхности в 1989–1993 гг. была сделана тепловая аэрофотосъёмка района проведения ПЯВ в штольнях СИПа с помощью тепловизионной аппаратуры “Вулкан” и “Зима”, установленной на борту летательных аппаратов (в качестве платформ использовались самолёт АН–30РВ и вертолёт МИ–8МТ). Данным способом было обследовано более 50 ПЯВ в штольнях, выполненных на СИПе. Практически для всех из них (около 85 %) на дневной поверхности в эпицентральной зоне ПЯВ наблюдались кольцеобразные или дугообразные структуры, охватывающие откольные зоны взрывов. В остальных случаях, соответствующих, как правило, ПЯВ малых энергий, ТА не имеют выраженной геометрической формы, а представляют собой отдельные тепловые пятна или множества тепловых пятен произвольной конфигурации. Для ПЯВ, проведённых в штольнях, наибольший зафиксированный срок существования ТА составил 25–26 лет [4].

Для обоснования достоверности существования ТА как долговременных остаточных процессов, происходящих в котловых полостях ПЯВ, были проведены исследования в двух направлениях [4].

Первое было связано с исключением гипотезы о солнечном неравномерном прогреве грунта за счёт различной экспозиции горных склонов и микрорельефа. Для этого выполнялся цикл ночных и предутренних измерений в осенне-зимний период в условиях сильной облачности при нулевой продолжительности солнечного сияния и практическом отсутствии разницы в дневных и ночных значениях температуры воздуха. Результаты измерений подтвердили факт наличия тепловых кольцеобразных аномалий ПЯВ. Косвенно роль солнечного прогрева

отрицает и сама форма ТА, так как солнечное излучение в холодное время года может “прогреть” лишь одну сторону провальной воронки.

Второе направление было связано с проверкой привязки ТА на дневной поверхности к картине местного действия ПЯВ. Задача решалась с помощью методов наземного термокаротажа в области тепловой аномалии, привязанной к местности по тепловому аэроснимку. Измерительные линии термодатчиков располагались на местности приблизительно как диаметры кругов, охватывающих откольные зоны.

По результатам наземных исследований было установлено, что датчикам, установленным в полосе теплового высвета, соответствуют температуры, превышающие фоновые на 8–10 °С.

На основании обработки полученных экспериментальных данных был сделан вывод, что причиной появления ТА в эпицентральной зоне ПЯВ стал выход газов из горного массива на дневную поверхность по тектоническим нарушениям, образовавшимся в результате механического действия ПЯВ [4].

Для подтверждения такого вывода были проведены исследования взаимосвязи мест выхода радона из горного массива на дневную поверхность и проявлениями ТА. Одновременно по профилю установки термодатчиков проводились измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения.

Измерения проводились в апреле, при температуре наружного воздуха, не превышающей плюс 8÷10 °С, т. е. в период равновесного состояния системы. Результаты совместных измерений объемной активности радона, поля температур и мощности экспозиционной дозы гамма-излучения представлены на рис. 1.

В соответствии с моделью образования ТА, предложенной в работе [4], наиболее отчетливо ТА проявляется в зимний период, когда воздушные массы двигаются от устья штольни, через котловую полость ПЯВ, по границе столба обрушения на дневную поверхность. Однако и в период равновесного состояния системы датчики № 12, 15, 17 фиксировали относительное увеличение температуры в месте их установки (рис. 1. *a*).

Из анализа поля температур и объемной активности радона (рис. 1, *a, б*) следует, что в месте установки датчика № 12 температура дневной поверхности в эпицентральной зоне ПЯВ на три градуса превышает температуру дневной поверхности горного массива, не нарушенную взрывом. Установленный рядом с датчиком № 12 интегральный пассивный радиометр радона (ИПРР) с детектором нитратцеллюлозным (ДНЦ) зарегистрировал превышение объемной концентрации радона относительно других точек измерения (рис. 1, *б*). Максимальное значение объемной концентрации радона по профилю измерений составляет



около $70 \text{ Бк}/\text{м}^3$. Незначительное несоответствие характера изменения поля температур и объёмной концентрации радона связано с методикой экспериментальных исследований. Например, термодатчик № 17 был установлен в расщелину, а по условиям обстановки (значительное разрушение и перемещение горного массива) место установки ИПРР было выбрано в районе размещения термодатчика № 17 и не попало непосредственно в место выхода радона.

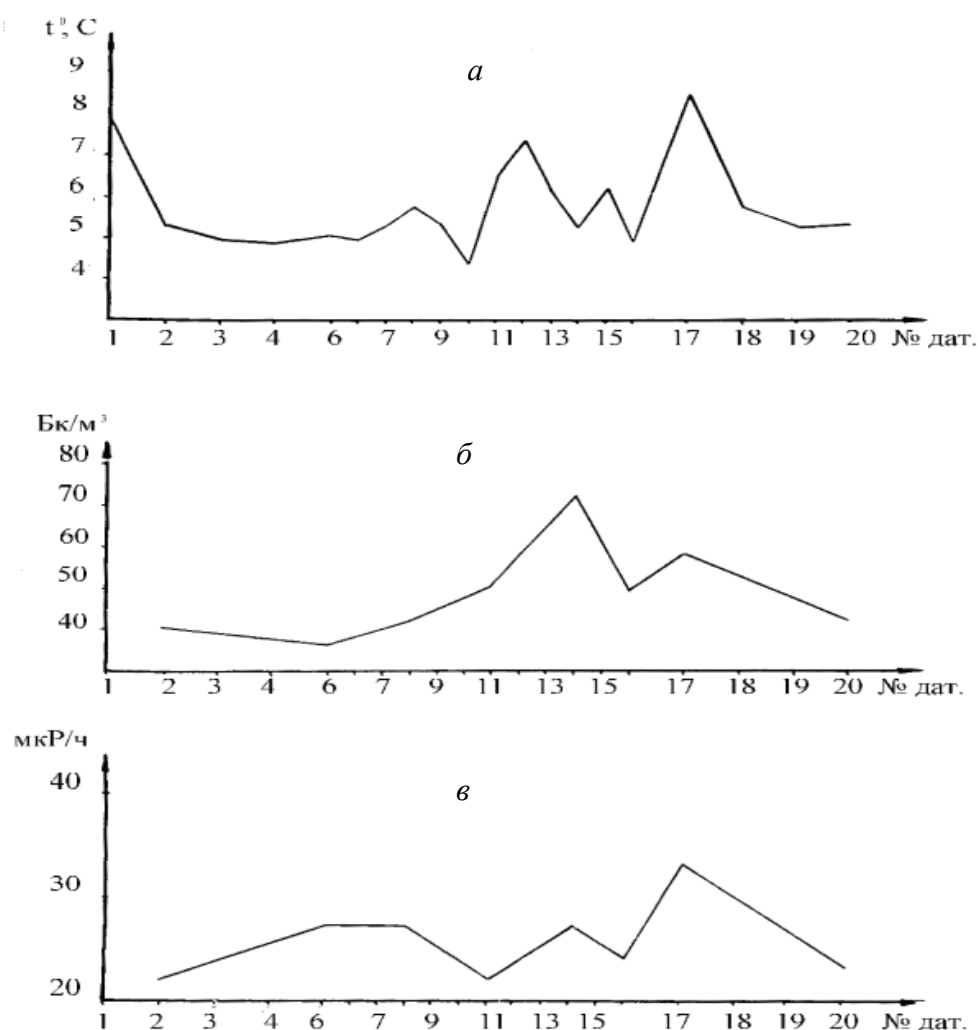


Рис. 1. Результаты совместных измерений объёмной активности радона, поля температур и мощности экспозиционной дозы гамма-излучения:
а – поле температур; б – объёмная концентрация радона; в – мощность экспозиционной дозы гамма-излучения.

В тех местах, где радиометры радона располагались вплотную к термодатчикам, характер изменения поля температур практически совпадает с изменением концентрации радона по профилю измерений (датчики № 2 – № 15). Таким образом, по результатам дистанционного зондирования района проведения ПЯВ можно локализовать место выхода радона из нарушенного взрывом горного массива, а с учетом модели движения воздушных масс по горной выработке и столбу обрушения [4] можно оценить количество вышедшего радона и его влияние на экологическую обстановку в районе испытаний.

Сопоставительный анализ характера изменения мощности дозы гамма-излучения с полем температур по профилю измерения позволяет сделать вывод, что в целом ход изменений поля температур и мощности экспозиционной дозы гамма-излучения совпадают. Некоторое несоответствие в левой части анализируемых графиков связано с методикой проведения измерений. Измерение температуры дневной поверхности в эпицентральной зоне ПЯВ проводилось в ночное время, когда ТА имеет наиболее выраженный характер. Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения измерялась в дневное время методом пешей дозиметрической разведки с помощью прибора ДП-5А при скорости ветра свыше 10 м /с. В ночное время дозиметрическая разведка не проводилась по условиям безопасности, так как в результате механического действия ПЯВ на дневной поверхности образуются трещины, зоны дробления породы с крупными фрагментами и с возможным образованием камнепада.

Отмеченные недостатки были учтены при организации измерений на другом объекте. Результаты измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения и изменения температуры дневной поверхности в эпицентральной зоне ПЯВ представлены на рис. 2.

Как видно из рис. 2, изменение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения по профилю расположения датчиков температуры в эпицентральной зоне ПЯВ объекта практически совпадает с характером изменения поля температур на этом объекте.

Таким образом, сопоставительный анализ вариаций поля температур на дневной поверхности и интенсивности выхода радиоактивных продуктов из горной выработки по каналам, образовавшимся в результате механического действия ПЯВ, показывает, что в границах тепловой аномалии (кольца) наблюдается увеличение уровней гамма-излучения и выхода радона, а характер проявления тепловой аномалии с очевидностью связан с направлением движения газового потока.

Наземные измерения температур были выполнены для семи ПЯВ, проведённых в штольнях. Параллельно с термокаротажем проводились оценки геометрических размеров тепловых аномалий. Было показано



[4], что для достаточно широкого спектра энергий и глубин проведения ПЯВ максимальный радиус тепловой аномалии изменяется в пределах от 80 до 250 м, а ширина теплового кольца – от 20 до 60 м.

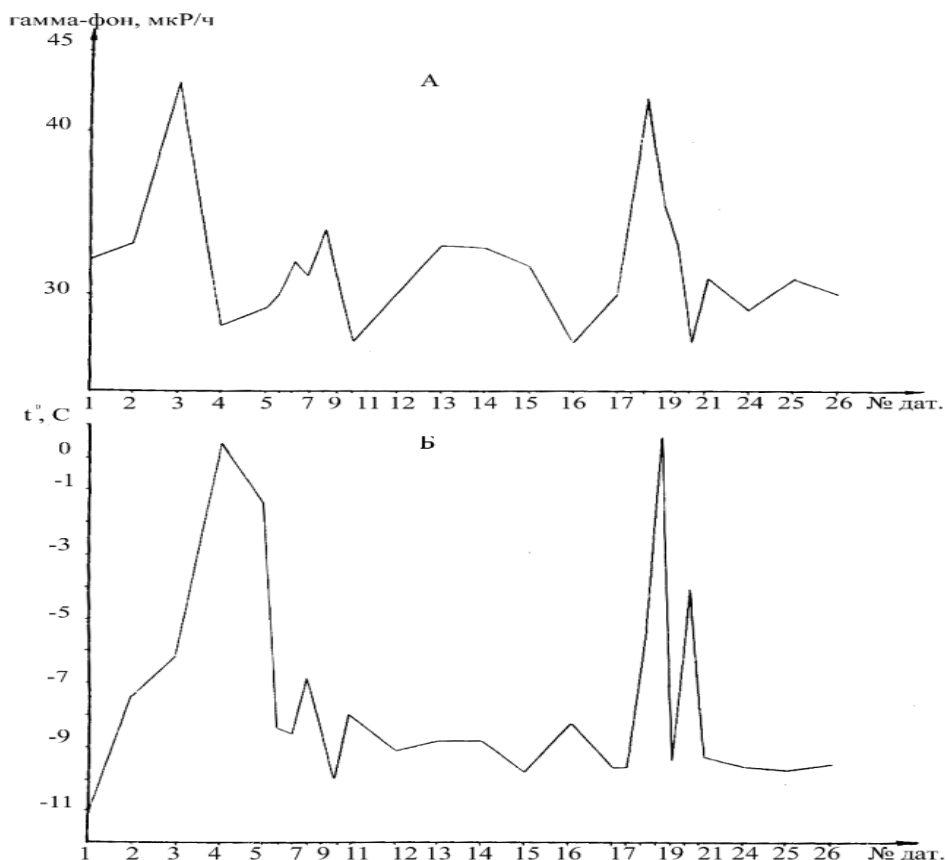


Рис. 2. Результаты измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения и изменения температуры дневной поверхности в эпицентральной зоне ПЯВ

Для выявления начала выноса тепла на дневную поверхность был выполнен специальный эксперимент, включающий в себя режимную тепловую съёмку местности в течение 6 дней до взрыва для получения опорной информации по характеру теплового поля района испытаний в ночное и дневное время. После проведения ПЯВ на другой и последующие 3 дня выполнялась регулярная тепловая съёмка той же местности. По результатам исследований установлено, что ТА формируется через 1–2 дня после проведения ПЯВ.

Полную продолжительность срока существования тепловой аномалии установить не представлялось возможным, так почти за десятилетний период наблюдений их термический режим практически не изменился.

Выводы:

1. Котловая полость после проведения подземного ядерного взрыва не является абсолютно герметичной. Наличие техногенных воздействий: зоны трещиноватости, столба обрушения, других тектонических нарушений – делает её доступной для воздушных потоков и, следовательно, для выноса тепла и присутствующих в полости газов на дневную поверхность.

2. Сопоставительный анализ экспериментальных исследований вариаций поля температур на дневной поверхности в эпицентральной зоне ПЯВ и интенсивности выхода радиоактивных продуктов из горной выработки по каналам, образовавшимся в результате механического действия ПЯВ, показывает, что на границах тепловой аномалии (кольца) наблюдается увеличение уровней гамма-излучения и выхода радона, а характер проявления тепловой аномалии с очевидностью связан с направлением движения газового потока.

3. Наибольший зафиксированный срок существования ТА составил 25–26 лет, а район проведения ПЯВ течение длительного времени после его проведения остаётся источником радиоактивного загрязнения атмосферы.

Библиографические ссылки

1. <http://unesco.freenet.kz/econet/r-pub-semk.htm>
2. Мелентьев М. И., Великанов А. Е. О природе региональной тепловой аномалии в районе Семипалатинского испытательного полигона, выявленной по данным дистанционного космического зондирования // Геофизика и проблемы нераспространения. 2003. Вып. 2.
3. Айдарханов А. О. Комплексное исследование температурных аномалий на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона. Курчатов, 2006.
4. Андреев А. И., Бусыгин В. П., Косолапов С. А. Термический режим дневной поверхности в эпицентральной зоне подземных ядерных взрывов // Физика земли. 1999. № 11.
5. Андреев А. И. Аномальная термальная зона в районе Семипалатинского испытательного полигона // Труды 44-й Всероссийской научно-практической конференции учёных транспортных вузов, инженерных работников и представителей академической науки 25–26 января 2006 г. Хабаровск, 2006.