

УДК 528.8 (15):574.4

К ВОПРОСУ О РАДИОАКТИВНОЙ И ГАЗООБРАЗНОЙ СУЩНОСТИ ПЕРИОДИЧЕСКИ ПОЯВЛЯЮЩЕЙСЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ АНОМАЛИИ В РАЙОНЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Великанов А.Е.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов

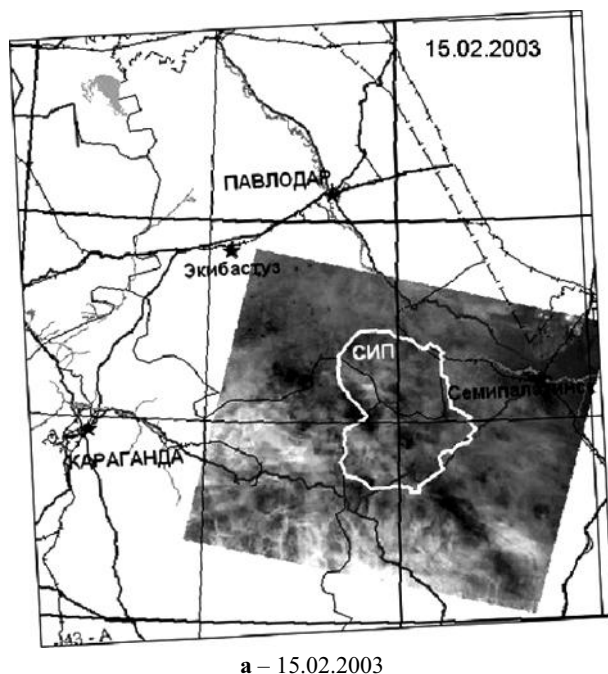
Приведены ряд фактов и материалов дистанционного космического зондирования, подтверждающих радиоактивную и газообразную сущность периодически появляющейся и динамично изменяющейся региональной тепловой аномалии в районе Семипалатинского испытательного полигона.

ФАКТЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАДИОАКТИВНУЮ ПРИРОДУ И ГАЗООБРАЗНУЮ СУЩНОСТЬ ТЕПЛОВОЙ АНОМАЛИИ

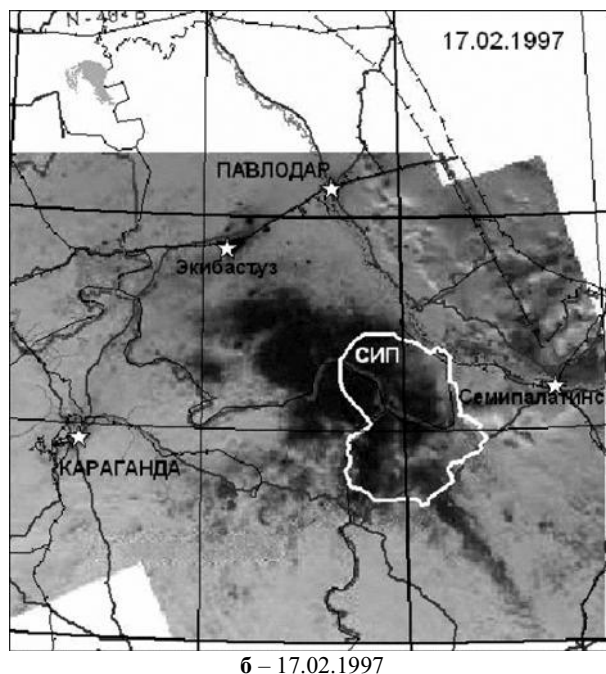
Согласно архивным метеорологическим данным появление тепловой аномалии наблюдалось еще до открытия Семипалатинского испытательного полигона (СИП) [1]. После проведения многочисленных ядерных взрывов, особенно наземных и воздушных, создавших на поверхности протяженные юго-восточный и южный радиоактивные следы, размеры и интенсивность тепловой аномалии увеличились. По данным ИКИ МОН РК в периоды максимального развития этой аномалии перепад температуры в эпицентре относительно фона достигает 10 – 12 и более градусов [2], а размеры охватывают площадь до 250×500 км.

Региональная тепловая аномалия в районе СИП наблюдается ежегодно в отдельные дни преимуще-

ственно зимне-весеннего сезона (реже поздней осенью), когда территория покрыта устойчивым снежным покровом. Зарождение и рост тепловой аномалии чаще всего совпадает с днями интенсивного выпадения осадков, возможного таяния снежного покрова и сопровождается понижением концентрации озона в атмосфере [3]. Конфигурация тепловой аномалии по мере ее роста и развития динамично меняется. Наблюдается значительное расширение аномалии, а затем, в зависимости от метеорологических условий, её разделение на полосы, рассеивание в различных направлениях, или общий снос в одном направлении, как правило, северо-западном, в сторону России, которое является преобладающим для атмосферных потоков в зимний период (рисунок 1).



а – 15.02.2003



б – 17.02.1997

Рисунок 1. Этапы зарождения, роста и смещения региональной тепловой аномалии в районе СИП на космических снимках разных лет метеорологических спутников NOAA и Terra/MODIS

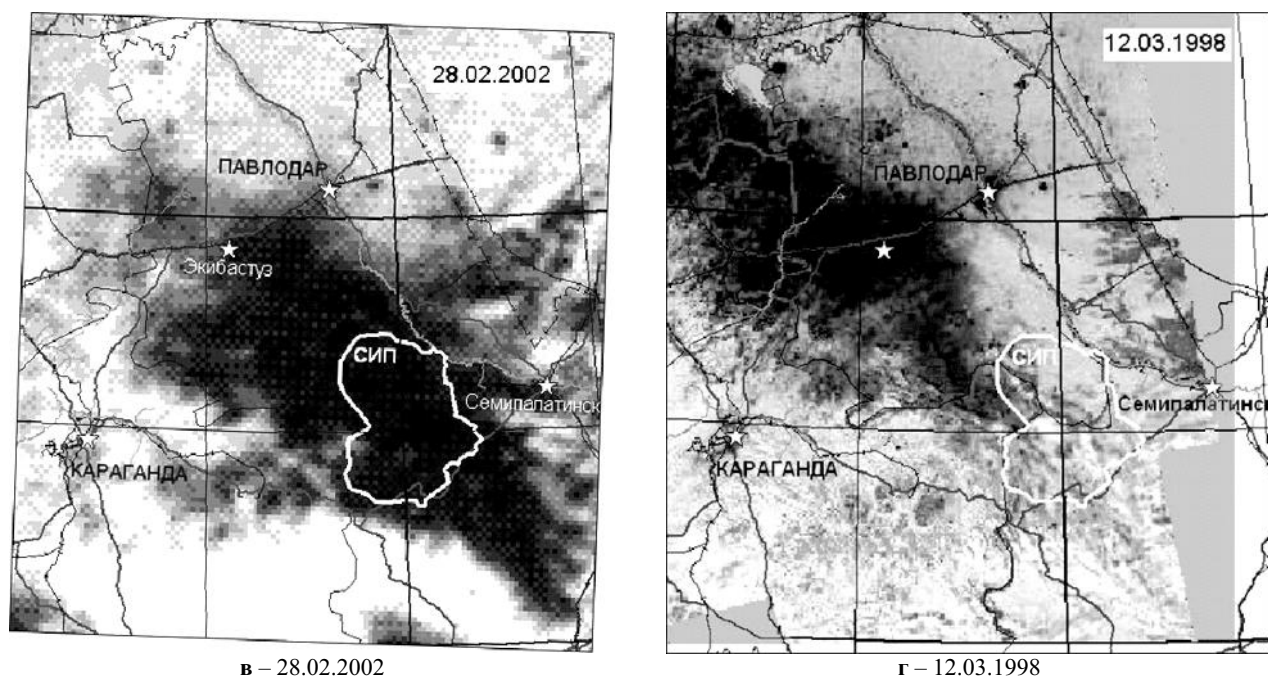


Рисунок 1. Этапы зарождения, роста и смещения региональной тепловой аномалии в районе СИП на космических снимках разных лет метеорологических спутников NOAA и Terra/MODIS

При этом под местом сноса или рассеяния скоплений тепловых газов (рисунок 2, красный цвет) снова просматривается снежный покров. В приведенном примере на рисунке 2, охватывающем площадь 180×170 км, в нижней части снимка после полосового рассеяния виден горный массив Дегелен. Все вышеприведенное может говорить о газообразной сущности тепловой аномалии.

Максимумы зарождающейся и расширяющейся тепловой аномалии расположены как на территории полигона, так и за его пределами. Они сохраняются также в период наибольшего развития тепловой аномалии и имеют неизменную локальную приуроченность к определённым участкам земной поверхности. Такими участками являются как природные геологические образования с высокими содержаниями естественных радиоактивных элементов (урана, тория, калия), так и участки земной поверхности с высокой плотностью техногенного загрязнения радиоактивными элементами, связанного с проведенными ядерными взрывами. На рисунке 3 видно, что в пределах СИП такие участки с высоким содержанием техногенных радионуклидов (или следы радиоактивного загрязнения) отмечаются протяжёнными ореолами Cs137 юго-восточного и южного направлений.

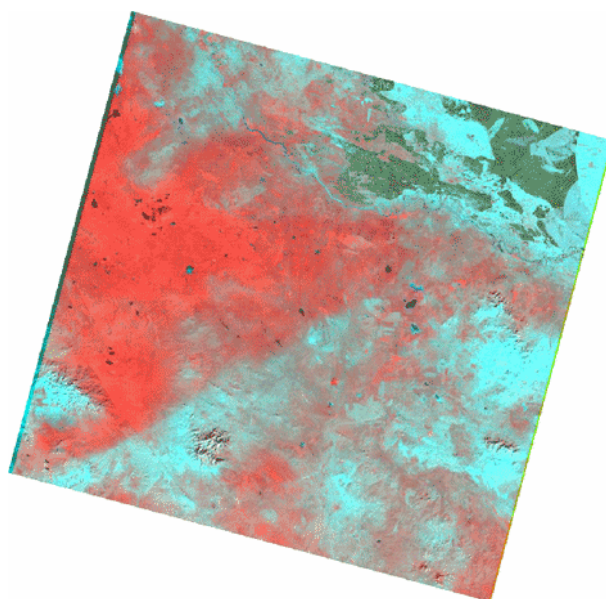
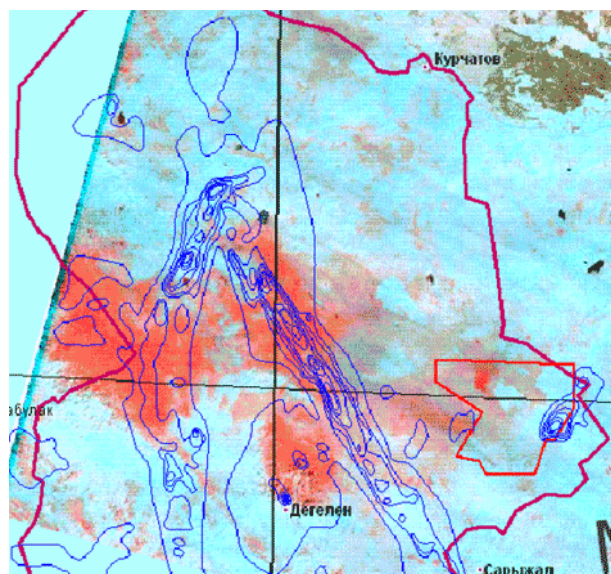
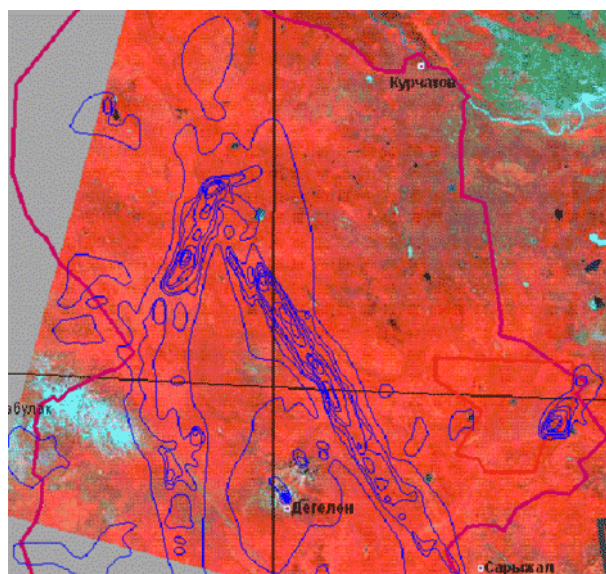


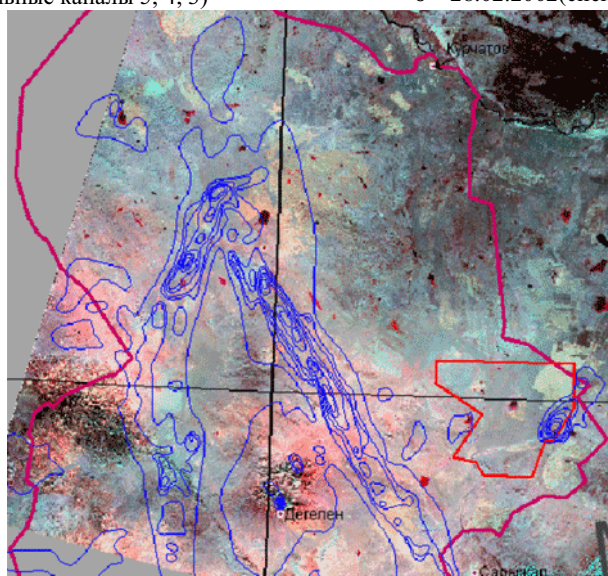
Рисунок 2. Пример частичного полосового сноса и рассеивания газов региональной тепловой аномалии (красный цвет) в районе СИП. Снимок LANDSAT за 27.01.2002. (RGB-комбинация спектральных каналов 5, 4, 3)



а – 15.02.2003 (спектральные каналы 5, 4, 3)



б – 28.02.2002 (спектральные каналы 5, 4, 3)



в – 28.02.2002 (комбинация инфракрасных каналов 6, 7, 5)

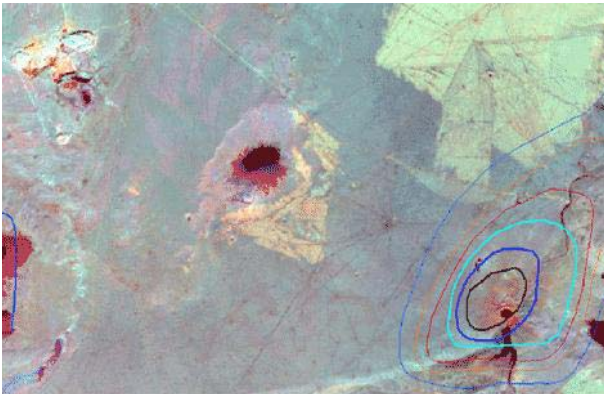
1 — контур участка Балапан; 2 — граница СИП; 3 — ореолы Cs^{137}

1 - контур участка Балапан; 2 - граница СИП; 3 - ореолы Cs^{137}

Рисунок 3. Территория СИП. Сопоставление участков зарождения тепловых газов (красный цвет) в начальный период и источников, излучения тепла на земной поверхности (красновато-розоватый цвет) в период максимального развития газообразной тепловой аномалии со следами радиоактивного загрязнения. Снимки LANDSAT

С северо-восточной и с восточной сторон гор Муржик, в районе участка Сарыузен, на котором проводились подземные ядерные взрывы в боевых скважинах большого диаметра, Институтом радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК выявлены довольно интенсивные ореолы Pu^{239} . Источником появления этих ореолов на протяжении южного следа, по всей видимости, всё же являются воздушные ядерные взрывы, производившиеся на участке Опытное поле. При увеличении снимка LANDSAT, полученного в период максимального развития региональной тепловой аномалии, на участке Балапан у реки Чаган в инфракрасных каналах хорошо ви-

ден локальный источник излучения тепла в виде теплового ореола вокруг Атомного озера, находящийся внутри интенсивного ореола радиоактивного загрязнения Cs^{137} (рисунок 4). Рядом в угольном карьере Каражыра также наблюдается локальный источник тепла, связанный с дегазацией угольных пластов.



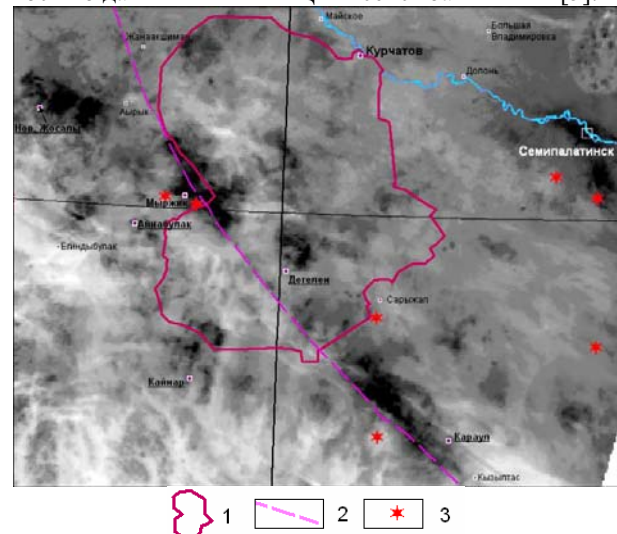
Красный цвет – источники излучения тепла на земной поверхности; розовый цвет – влажные незамерзающие солончаки

Рисунок 4. Локальные источники излучения тепла вокруг атомного озера внутри ореола $Cs137$ и в районе угольного карьера Каражыра в период максимального развития газообразной тепловой аномалии. Снимок LANDSAT за 28.02.2002. (RGB-комбинация инфракрасных каналов 6, 7, 5)

Участки природных геологических образований с высоким содержанием естественных радиоактивных элементов в районе СИП представляют собой чаще всего горы с выходами эффузивных пород средне-кислого состава повышенной щёлочности, реже – речные долины с аллювиальным сносом обломков тех же коренных пород (палеозойские туфы трахилипаритового и трахиандезитового состава с телами субвулканических интрузий трахилипаритового и сиенитового состава). Содержание урана (по радию) в этих породах превышает $10\text{--}15 \cdot 10^{-4}\%$, тория – $20\text{--}40 \cdot 10^{-4}\%$ (больше фоновых в 5-10 и более раз). Кроме того, в них наблюдаются повышенные содержания ниобия, бериллия, иттрия, молибдена и свинца [4]. Наиболее интенсивное проявление высоких содержаний естественных радиоактивных элементов в геологических образованиях, совпадающее с участками зарождения тепловых газов, наблюдается (рисунок 5) в восточной части гор Кызылтау вблизи пос. Новый Жосалы; в сближенных горах Дос и Иргиз вблизи пос. Айнабулак (Абай); в горах Абрайлы, вблизи пос. Кайнар; в восточной части гор Дегелен и в северо-восточной части хребта Канчингиз, вблизи пос. Караул.

В целом тепловая аномалия вытянута в СЗ направлении. Такую же направленность в пределах аномалии имеют основной Главный Чингизский и ряд второстепенных тектонических разломов. На стадии зарождения наблюдается приуроченность вытянутых участков тепловой аномалии к местопо-

ложению Главного Чингизского разлома, являющегося по данным ИГИ НЯЦ РК сейсмоактивным [5].

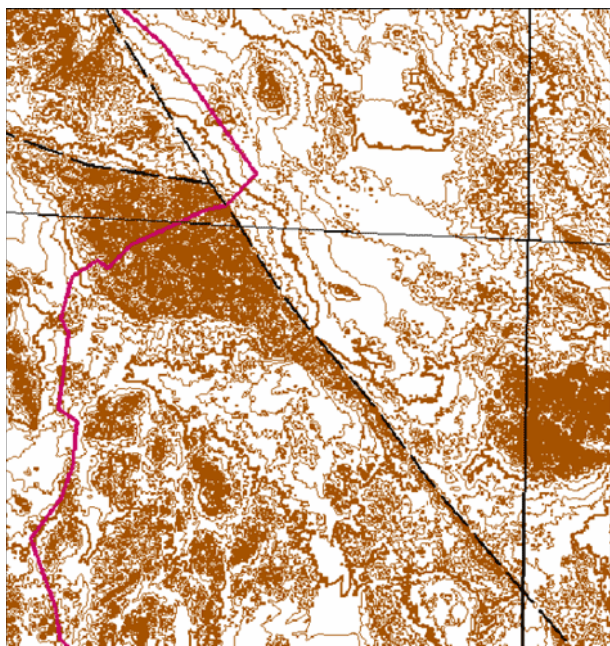


1 – контур СИП; 2 – Главный Чингизский разлом; 3 – эпицентры сейсмических событий. Чёрный цвет – смог в районе г. Семипалатинска и участки зарождения тепловых газов на земной поверхности в начальный период развития газообразной тепловой аномалии

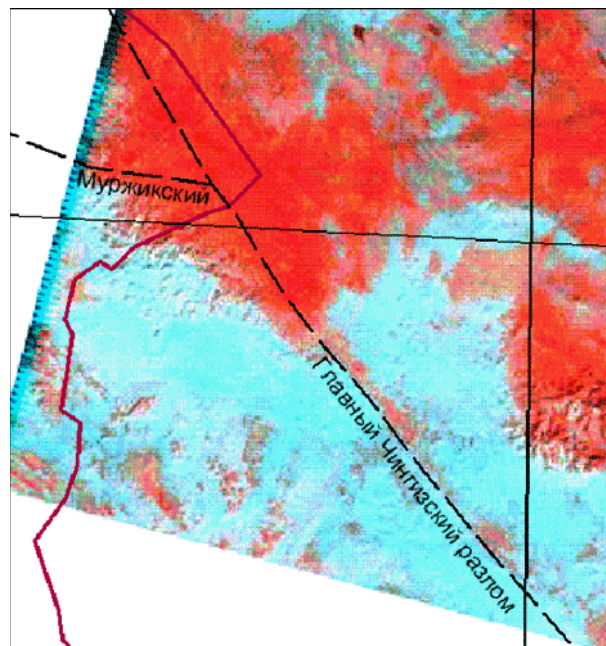
Рисунок 5. Инверсионное изображение температурных данных LST (Land Surface Temperature) метеорологического спутника Terra/MODIS за 15 февраля 2003 г.

В зоне действия Главного Чингизского разлома – в районе гор Муржик, хребта Канчингиз, – в разные годы зафиксированы землетрясения с магнитудой m_b до 5.1 (рисунок 5). Здесь по активным тектоническим разломам глубинные флюиды могут выносить газы – водород, метан, сероводород, углекислый газ, гелий и радиоактивный газ радон [6, 7, 8]. По данным ОАО «Волковгеология» район расположения Главного Чингизского разлома (район хребта Канчингиз вблизи пос. Караул) относится к основным линейным тектоническим зонам с высокими концентрациями радона в подземных водах [9].

В период зарождения тепловой аномалии, образующиеся тепловые газы имеют повышенную плотность относительно воздуха. На космических снимках LANDSAT можно наблюдать, как отдельные скопления тепловых газов задерживаются с СВ стороны возвышенных форм рельефа, особенно около рельефного уступа Главного Чингизского разлома, возвышающегося над окружающей местностью на высоту от 50-100 до 200 м в районе гор Муржик (рисунок 6).



а – на карте топографического рельефа



б – на космическом снимке LANDSAT за 15.02.2003 (спектральные каналы 5, 4, 3) в период зарождения тепловой аномалии

Рисунок 6. Отображение сейсмоактивных тектонических разломов
- Главного Чингизского и примыкающего к нему Муржикского

По мере расширения и рассеивания в атмосфере плотность тепловых газов понижается, их отдельные скопления объединяются, и они поднимаются на высоту от 500 м до 4 км и более. Снизу могут наблюдаться небольшие кучевые облака с близкой тенью от них на поверхности земли, а сверху могут распространяться слоисто-перистые и перистые облака. На рисунке 7 приведен снимок LANDSAT за 12.02.2002 (RGB-комбинация спектральных каналов 5, 4, 3), охватывающий площадь 170×100 км с изображением юго-западной части газообразной тепловой аномалии в районе Главного Чингизского разлома, на юг от массива Дегелен.

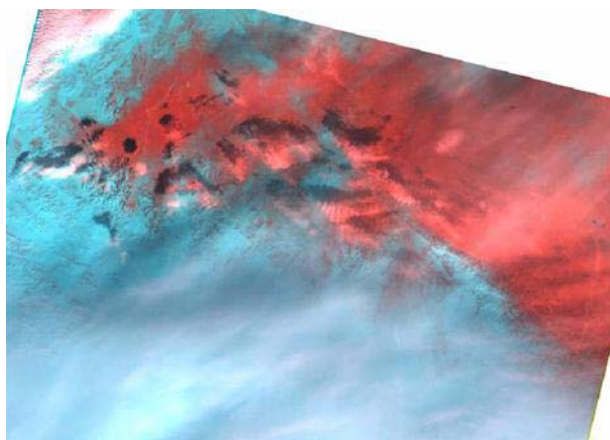


Рисунок 7. Расположение тепловых газов в атмосферной толще между кучевыми и перистыми облаками.
Снимок LANDSAT за 12.02.2002 (RGB-комбинация спектральных каналов 5, 4, 3).

В тепловых инфракрасных каналах контуры газообразных скоплений и эпицентры их зарождения у поверхности земли отображаются более ярким спектром, что говорит об их тепловом излучении. Похожими цветовыми спектрами на космических снимках отмечаются угольные карьеры Каражыра, Экибастуз и г. Семипалатинск. Давно замечено, что зимой температура в крупном городе примерно на 10 градусов выше, чем в окружающей местности. Для карьеров и крупных городов источником тепловых газов, в состав которых входят преимущественно двуокись азота NO_2 , углекислый газ CO_2 и, в меньшей степени, метан CH_4 , могут быть выхлопы крупногабаритных самосвалов, городского транспорта, дымовые выбросы отопительных печей, котельных и ТЭЦ, а также дегазация углей.

Источники и возможные процессы образования тепловых газов

Одним из источников появления тепловых газов в районе СИП может быть глубинная дегазация вдоль тектонических разломов, связанная с сейсмической активизацией и поступлением глубинных газообразных флюидов. Возможным источником может являться дегазация углистых пород, довольно широко распространённых на территории, особенно при радиолитическом воздействии на них радиоактивных продуктов ядерных взрывов, как в приповерхностных условиях, так и в подземных скважинах. В состав тепловых газов могут входить водород, метан, сероводород, углекислый газ. Довольно ощутимым проявлением дегазации углистых пород

было взрывное возгорание газов с образованием провальной воронки на участке Балапан в боевой скважине «Глубокая» 16 апреля 1992 (через 15 лет после подземного ядерного взрыва в 1977 г. мощностью 70 кт). На участке Балапан имеется десять боевых скважин, отнесенных к газующим. При полевых исследованиях в 2006 г. в части этих скважин в составе газов установлены углекислый газ и метан. Более половины всех боевых скважин на участке Балапан, в которых были осуществлены подземные ядерные взрывы, находятся в углефицированных породах. Кроме того, на территории СИП ранее проведенными геологическими исследованиями установлено более двух десятков угольных проявлений (включая и месторождения).

Локальная приуроченность участков с зарождающейся и расширяющейся тепловой аномалией к природным геологическим образованиям с высокими содержаниями естественных радиоактивных элементов (урана, тория, калия), а также к участкам земной поверхности с высокой плотностью техногенного загрязнения радионуклидами (кобальт, стронций, цезий, европий, уран, плутоний и др.) определяет следующие возможные процессы образования тепловых газов в дни интенсивного выпадения осадков и таяния снежного покрова:

- радиоллиз в сильно увлажнённых приповерхностном и почвенном слоях на участках с высоким содержанием естественных и техногенных радиоактивных элементов (радионуклидов);
- «тлеющие» реакции деления ядер естественных и техногенных радиоактивных элементов в увлажнённом приповерхностном или почвенном слое при радиоллизе, который способствует образованию определенного количества тепловых нейтронов.

К газообразным продуктам радиоллиза в приповерхностных и почвенных растворах можно отнести метан CH_4 , четырёххлористый углерод CCl_4 , хлорфторуглероды (фреоны) и другие газы, которые образуются из элементов, характерных для геологической среды земной поверхности района территории СИП с повышенным содержанием хлористых, фтористых и углеродистых минералов (натриевая или поваренная соль, флюорит, углефицированное вещество). На территории СИП в районе двух эпицентров образования тепловых газов ведётся промышленная добыча поваренной соли (озеро Жаксыгуз) и флюорита (месторождение Каражал). Здесь же, кроме флюорита, отмечаются высокие содержания бериллия, вольфрама, молибдена, олова и других элементов. Как было отмечено выше и другие участки природных геологических образований с высокими содержаниями естественных радиоактивных элементов имеют повышенные содержания ниобия, бериллия, иттрия, молибдена и свинца, которые сопровождают редкометальное оруденение.

Интересно, что по данным ОАО «Волковгеология», исследовавшим экологическую ситуацию на редкометальном месторождении Акчатау в Центральном Казахстане, установлена важная для обсуждаемого вопроса особенность этого типа месторождений. В их рудах обычно содержатся достаточно большие количества урана, тория, продуктов их распада, а также бериллия и флюорита (CaF_2). Под действием альфа-излучения природных радионуклидов на бериллии и фторе происходят ядерные реакции с образованием нейтронов средней энергии порядка 4 МэВ. Если обычный нейтронный поток в гранитах составляет 13 - 15 нейтр./см² сут, в бериллиевых рудах Акчатау он достигает значений 15000 нейтр./см² сут. [9].

К газообразным продуктам «тлеющих» реакций деления ядер радиоактивных элементов и техногенных радионуклидов («горячих» частиц) можно отнести криптон Kr^{85} , иод I^{131} , ксенон Xe^{133} и другие газообразные изотопы. Особую роль может играть озон O_3 , образующийся при радиоллизе как в почвенных растворах с перекисью водорода H_2O_2 , так и в приземной атмосфере при гамма-излучении в местах высоких концентраций естественных и техногенных радиоактивных элементов. В почве озон с перекисью водорода способствует разрушению углеродсодержащей органики и углефицированных веществ с образованием углекислого газа CO_2 и метана CH_4 . В приземной атмосфере образование озона из кислорода воздуха сопровождается образованием двуокси азота NO_2 бурого цвета, хорошо поглощающей солнечные лучи.

Отдельно необходимо обсудить роль радиоактивного газа радон (Rn^{222} – собственно радон и Rn^{220} – торон) как продукта радиоактивного распада природного урана (радия) и тория. В значительных количествах он образуется в местах локализации природных геологических образований с высокими содержаниями естественных радиоактивных элементов (урана, тория, калия). Если эти образования находятся на больших глубинах, радиоактивный газ радон поступает на поверхность по сейсмоактивным тектоническим разломам. Радон является излучателем альфа-частиц, очень хорошо растворяется в воде, поэтому в сильно увлажнённом приповерхностном или почвенном слое он, включаясь в процесс радиоллиза в жидкой среде, способствует образованию дополнительного количества замедленных нейтронов и протеканию «тлеющих» реакций деления ядер природных радиоактивных элементов урана и тория. При поглощении нейтронов ядрами U^{238} и Th^{232} образуются долгоживущие альфа-радиоактивные изотопы плутония Pu^{239} и урана U^{233} , обладающие способностью, подобно природному изотопу урана U^{235} , делиться медленными нейтронами. В приповерхностном слое, в пределах участков природных геологических образований с высокими содержаниями естественных радиоактивных элемен-

тов (урана, тория, калия), также должны фиксироваться ореолы Pu^{239} .

С учётом перечисленных выше предполагаемых источников образования тепловых газов составлена обобщающая таблица возможных процессов и со-

става газов, образующих региональную тепловую аномалию в районе СИП. В таблице (крестиками) отмечено присутствие газов в том или ином процессе, а количество крестиков – степень преобладания того или иного газа в данном процессе.

Таблица. Возможные причины и состав газов, образующих региональную тепловую аномалию в районе СИП

№ п/п	Возможный состав газов	Глубинная дегазация		Радиолиз в увлажнённом приповерхностном слое *	«Тлеющие» реакции деления ядер радионуклидов при радиолизе
		по тектоническим разломам	углистых пород		
1	Водород H_2	++		++	
2	Гелий He	+			
3	Метан CH_4	++	++	++	
4	Перекись водорода H_2O_2			+	
5	Сероводород H_2S	+	+		
6	Углекислый газ CO_2	+	++	+	
7	Двуокись азота NO_2			+++	
8	Озон O_3			++	
9	Четырёххлористый углерод CCl_4			+	
10	Хлорфторуглероды (фреоны)			+	
11	Гексафторид урана U^{235}F_6			+	
12	Фториды плутония $\text{Pu}^{239}\text{F}_3$, PuF_4 , PuBeF_4			+	
13	Криптон Kr^{85}				+
14	Йод I^{131}				+
15	Ксенон Xe^{133}				+
16	Радон Rn^{222} , Rn^{220}	+			

Примечание* - с естественными или техногенными радионуклидами

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Радиоактивная природа тепловой аномалии вытекает из приуроченности эпицентров зарождающейся и расширяющейся тепловой аномалии к участкам природных геологических образований с высокими содержаниями естественных радиоактивных элементов (урана, тория, калия), а также к участкам земной поверхности с высокой плотностью техногенного загрязнения радионуклидами. При определённых метеорологических и радиогеохимических условиях в этих местах периодически запускается процесс протекания «тлеющих» реакций деления ядер, который в свою очередь вызывается процессом радиолиза в сильно увлажнённых приповерхностном и почвенном слоях с высоким содержанием естественных и техногенных радиоактивных элементов (радионуклидов). Газообразную сущность тепловой аномалии определяют газообразные продукты радиолиза и «тлеющих» реакций деления ядер. Одним из источников появления тепловых газов в районе СИП может быть глубинная дегазация по тектоническим разломам, связанная с сейсмической активизацией и поступлением газообразных

флюидов. Сюда же можно отнести также дегазацию довольно широко распространённых углистых пород, особенно при радиолитическом воздействии на них радиоактивных продуктов ядерных взрывов.

Более легкие разогретые газообразные продукты радиолиза и «тлеющих» реакций деления ядер - водород, метан, четырёххлористый углерод, хлорфторуглероды (фреоны), криптон и ксенон, - быстро поднимаясь в верхние слои атмосферы, способствуют разрушению озонового слоя. В приземной атмосфере озон, постоянно образующийся при радиолизе из воздуха за счет гамма-излучения, как более тяжёлый газ, не может подняться в верхние слои атмосферы. Здесь он является мощным окислителем и губительно действует на растительный мир. Но, благодаря наличию процесса запуска тлеющих реакций деления ядер при периодическом воздействии водной среды, появляется возможность природе самой производить чистку геологической среды от высоких концентраций техногенных радионуклидов. Можно предположить, что в обозримом будущем концентрация техногенных радионуклидов на территории СИП может снизиться до безопасных уровней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Космический мониторинг температурного режима района Семипалатинского испытательного полигона: 10 лет наблюдений / Л.Ф. Спивак [и др.] // Вестник НЯЦ РК, 2006. – Вып. 2. – С. 97 – 103.
2. Дистанционное зондирование температурных аномалий в районе Семипалатинского ядерного полигона / У.М. Султангазин [и др.] // Доклады Министерства науки - Академии наук Республики Казахстан, 1997. – № 2, – С. 51 – 54.
3. Мелентьев, М.И. О природе региональной тепловой аномалии в районе Семипалатинского испытательного полигона, выявленной по данным дистанционного космического зондирования // М.И. Мелентьев, А.Е. Великанов // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2003. – Вып. 2, - С. 89 – 93.

4. Куликов, Е. И. Отчёт Карагандинской аэропартии о результатах комплексной аэрогеофизической съёмки м-ба 1:25000 в Каркаралинском районе за 1982 - 1986 гг. / Е.И. Куликов, А. Е. Великанов и др. // № 782 Фонды АГФЭ, 1986.
5. Исследование сейсмичности территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона и его окрестностей / Н.Н. Михайлова [и др.] // Геофизика XXI столетия: 2006 г.: Сб. трудов Восьмых геофизических чтений имени В.В. Федынского (2 - 4 марта 2006 г., Москва). - Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2007. - С. 179 – 190.
6. Сывороткин, В.Л. Глубинная дегазация и глобальные катастрофы / В.Л. Сывороткин. - М.: ЗАО "Геоинформмарк", 2002. - 250 с.
7. Копничев, Ю.Ф. Подъем мантийных флюидов в районах очагов сильных землетрясений и крупных разломных зон: геохимические свидетельства / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК, 2005. - Вып. 2, - С. 147 – 155.
8. Копничев, Ю.Ф. Новые данные о структуре поля поглощения поперечных волн в районе Семипалатинского полигона / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2001. - Вып. 2, - С. 106 – 114.
9. Учебно-методическое руководство по радиоэкологии и обращению с радиоактивными отходами для условий Казахстана // МНТЦ, Проект К-112. ОАО «Волковгеология», Алматы, 2002. - 304 с.

СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНЫҢ АУДАНЫДА МЕЗГІЛ-МЕЗГІЛ ПАЙДА БОЛАТЫН АУМАҚТЫҚ ЖЫЛУ АНОМАЛИЯНЫҢ РАДИОАКТИВТІ ЖӘНЕ ГАЗТӘРІЗДІ МӘНІ ТУРАЛЫ МӘСЕЛЕСІНЕ

Великанов А.Е.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Семей сынау полигонының ауданында мезгіл-мезгіл пайда болатын және динамикалық өзгеретін аумақтық жылу аномалияның радиоактивті және газтәрізді мәнін растайтын ғарыштық зондтауының бір қатар материалдары мен фактілері келтірілген.

ABOUT GASEOUS ESSENCE OF PERIODICALLY OCCURRING REGIONAL THERMAL ANOMALY WITHIN SEMIPALATINSK TEST SITE

A.Ye.Velikanov

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The report presents a number of data and materials obtained by means of space shots that confirm radioactive gaseous nature of periodically occurring and dynamically changing regional thermal anomalies within Semipalatinsk Test Site (STS).