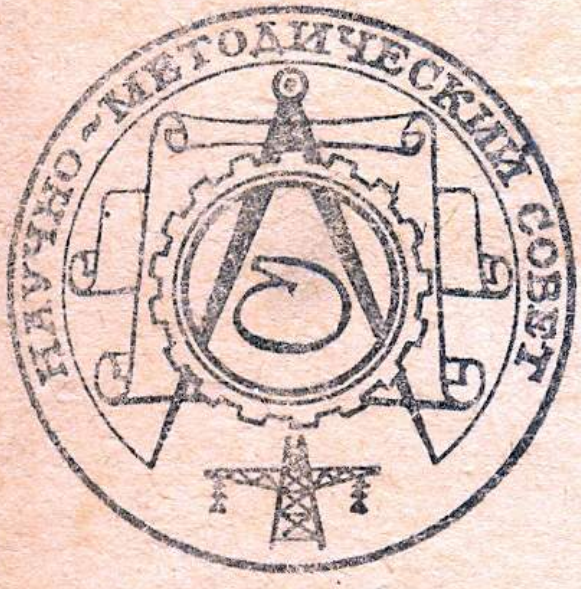
Министерство народного образования УзССР

ТАШКЕНТСКИЙ ОРДЕНА ДРУЖБЫ НАРОДОВ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

Проведение учебной геофизической практики методические указания по теме «Эманационный метод» (для студентов геологоразведочного факультета)



Ташкент — 1989

Министерство народного образования Узбекской ССР
Ташкентский ордена Дружбы народов политехнический институт
им.Беруни

Проведение учебной геофизической практики методический указания по теме "Эманационный метод" (для студентов геологоразведочного факультета)

Ташкент - 1989

С о с т а в и т е л и: Н.Ф. Шевченко, А.Г. Антонец

Проведение учебной геофизической практики методические указания по теме "Эманационный метод" (для студентов геологоразведочного факультета). / Ташкент. политехнический институт. Составители: Н.Ф.Шевченко, А.Г.Антонец, Ташкент, 1989. 64 с.

Методическая разработка посвящена наиболее чувствительному и глубинному методу радиометрии - э м а н а ц и о н н о м у м е т о д у и включает в себя разделы, необходимые для прохождения п о л е в о й учебной практики.

Основной упор в работе делался на вопросы (новые экспозиционные модификации метода, аппаратура, настроечно-поверочные операции с ней, методика полевых работ и т.п.), не нашедших должного отражения в общедоступной литературе.

Методические указания предназначены для студентов геофизической, геологоразведочной, гидрогеологической и инженерно- геологической специальностей горных и геологоразведочных институтов и факультетов.

Кафедра "Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых"

Печатается по решению научно-методического совета Ташкентского политехнического института им. Беруни

Редактор И.Г. Силантьева

Подписано в печать 31.10.89. Формат 60х 84 1/16
Оперативная печать. Бумага № 1 Усл. печ.л.3,7. Уч.-изд.3,9
Заказ № 1523. Тираж 100 экз. Бесплатно.

Редакционно-издательский отдел ТашПИ. Ташкент, Вузгородок,
Техфак. КПМ

Типография ТашПИ. Ташкент, Ч.Коласа, 16

Ц Е Л Е В О Е З А Д А Н И Е

Ц е л ь ю учебной геофизической практики по радиометрическим методам является закрепление теоретических знаний, полученных студентами в процессе вузовского обучения, а также приобретения ими определенных навыков практической и организаторской работы, привитие самостоятельности и творческого подхода к решению геологических задач в конкретных условиях.

Э М А Н А Ц И О Н Н Ы Й М Е Т О Д является наиболее чувствительным и глубинным методом радиометрии. С его помощью можно решать задачи поисков наиболее ценных полезных ископаемых (радиоактивного сырья, редких, редкоземельных, рассеянных, ряда цветных и других элементов).

Метод не исчерпал свои возможности при геологическом картировании, обнаружении тектонических нарушений, перекрытых отложениями, и других геологических структур.

Не до конца оценены возможности метода в горном деле для обнаружения трещиноватых, дробленных, ослабленных зон - мест возможного притока подземных вод, различных газов в подземные горные выработки, и несущих в себе большие опасности для горняков.

Метод оказался эффективным при решении ряда инженерно-геологических задач, связанных с изучением геологического строения, выявления структурно-тектонических образований, тектонических нарушений, зон и систем трещин, играющих важную роль в формировании, развитии и проявлении современных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений. Эманационный метод может быть использован при исследовании участков проявления карстово-суффозионных процессов, обнаружения подземных пустот при инженерно-геологических изысканиях под строительство, изучения оползней.

Эманационная аппаратура может быть использована не только для определения наличия радиоактивных газов в почвенном воздухе, но и в водах различного происхождения, что может способствовать успешному решению отдельных задач гидрогеологии и инженерной геологии; для экспрессного анализа при обнаружении бальнеологических источников, а также способствования решения ряда вопросов при прогнозировании з е м л я т р е с е н и й .

Решение всех этих и других задач требует от исполнителей - ИТР глубокой теоретической и практической подготовки, которую они должны получить еще в стенах учебного заведения.

I. ФИЗИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭМАНАЦИОННОГО МЕТОДА

I.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Эманационная съемка - это метод, основанный на изучении распределения эманаций в горных породах, рудах, почвах, атмосферном воздухе с целью поисков месторождений радиоактивных руд, прослеживания тектонических нарушений, обнаружения движения оползней и решения других геологических задач.

Газообразными продуктами распада, т.е. эманациями, в ряду естественных радиоактивных элементов урана является Rn (радон), тория - Tn (торон), актиния - An (актинон). Образуются эманации путем альфа-распада и сами являются альфа-излучателями.

Период полураспада, т.е. время за которое количество нуклида уменьшается наполовину, радона равен 3,82 суток, торона - 54.5 с и актинона - 3.92 секунд.

Количество радиоактивных эманаций измеряется их активностью. Активность оценивается числом распадов в секунду. Единицей активности в системе СИ является беккерель (Бк) - активность изотопа, в котором за 1 с происходит один акт распада.

Внесистемной единицей является кюри (Ки) - количество изотопа, которое создает в 1 секунду - $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов.

1 Ки = $3.7\ 10^{10}$ Бк ; 1 Бк = $2.7\ 10^{-11}$ Ки .

Концентрация радона в жидкостях и газах измеряется числом распадов в 1 с в объеме жидкости или газа - Бк/л или Бк/ $м^3$.

До недавнего времени в практике использовалась внесистемная единица кюри на литр и производная от неё - эман.

1 Ки / л = $3.7 \cdot 10^{10}$ Бк / л ; 1 эман = 3.7 Бк / л .

Концентрация торона и актинона выражается в эквивалентных единицах Эман (Бк /л), т.е. такой концентрацией, которая создает такой же эффект, как и 1 эман (Бк /л).

I.2 ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

Согласно теории радиоактивных превращений основной закон его состоит в том, что количество превращающегося в единицу времени вещества пропорционально всему его наличному количеству. Следовательно, если обозначить N число атомов простого радиоактивного вещества в момент времени t , N_0 число атомов при $t' = 0$, то можно написать равенство $dN = -\lambda N dt$. (1.1)

Интегрируя выражение (I.I) в пределах по t от 0 до t и по N от N_0 до N имеем:

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\int_0^t \lambda dt;$$

$$\ln N = \ln N_0 - \lambda t; \qquad N = N_0 e^{-\lambda t}. \qquad (I.2)$$

В выражении (I.2) λ - постоянная распада, имеющая размерность времени минус первой степени.

Скорость превращения атомов радиоактивных веществ характеризуется еще двумя постоянными: периодом полураспада T и средней продолжительностью жизни атомов τ .

Постоянная распада λ связана с периодом полураспада следующим соотношением:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}. \qquad (I.3)$$

Графически выражение (I.2) на полулогарифмических координатах представляет собой прямую линию, в которой постоянная распада равна угловому коэффициенту прямой, изображающей распад логарифма атомов радона со временем (Рис. I.I)

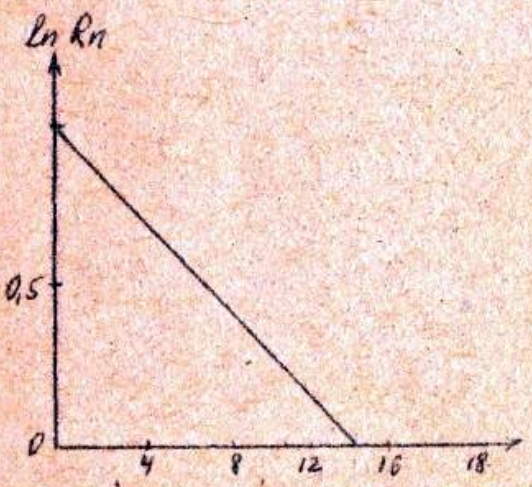


Рис. I.I График распада радона

где $\ln Rn$ - логарифм количества радона,

t - время от начала распада в сутках

Скорость накопления радиоактивного продукта распада какого-либо радиоактивного вещества может быть определена при рассмотрении двух последовательно превращающихся радиоактивных веществ - материнского и дочернего. Пусть Ra -226 - материнского вещество, тогда Rn -222 - - дочерное вещество.

Если взять чистый Ra , то количество распадающихся в единицу времени атомов Ra , согласно формуле (I.I) будет

$$-dN_{Ra} = \lambda_{Ra} N_{Ra} dt, \qquad (I.4)$$

но dN_a - это и количество образовавшихся атомов радона - N_{Rn} . За это же время число распавшихся атомов радона можно выразить как

$$-dN_{Rn} = \lambda_{Rn} N_{Rn} dt. \qquad (I.5)$$

Тогда количество накопившихся атомов радона будет равно числу распавшихся атомов радия за вычетом числа распавшихся атомов радона,

т.е. $$\frac{dN_{Rn}}{dt} = \lambda_{Ra} N_{Ra} - \lambda_{Rn} N_{Rn}. \qquad (I.6)$$

Очевидно, что нарастание числа атомов радона будет происходить до тех пор, пока число распадающихся атомов радона за единицу времени, т.е. $\lambda_{Rn} N_{Rn} = \lambda_{Ra} N_{Ra}$,

или $$\frac{N_{Ra}}{N_{Rn}} = \frac{\lambda_{Rn}}{\lambda_{Ra}}. \qquad (I.7)$$

Решение уравнения (I.6) с учетом соотношений (I.7) дает $$N_t Rn = N_P Rn\,(1 - exp - \lambda_{Rn} t), \qquad (I.8)$$

где $N_t Rn$ - число атомов радона, накопившихся за время t ; $N_P Rn$ - число атомов радона в состоянии равновесия с радием.

I.3 ЭМАНИРОВАНИЕ И ЭМАНИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОРОД И РУД

Процесс выделения эманаций из твердой фазы вещества называется э м а н и р о в а н и е м . В горных породах эманации выделяются в поры, трещины и внешнее пространство. Выход атомов эманаций происходит главным образом благодаря явлению отдачи ядра при радиоактивном распаде. Ему способствуют в породе существующие и образующиеся при распаде дефекты структуры.

Часть эманации, самопроизвольно выделяющаяся из твердой фазы, называется свободной. Часть эманации, оставшаяся при тех же условиях в твердой фазе, называется связанной. Сумма свободной и связанной эманации равна равновесному количеству эманации, образующейся из материнского нуклида.

Количественной характеристикой эманирования пород является коэффициент эманирования $K_{эм}$. Он равен отношению количества свободной эманации ко всему количеству эманации, находящейся в равновесии с материнским нуклидом (радием или его изотопами), содержащимся в данном объеме вещества. Для радона :

$$K_{эм} = \frac{Q_{Rn,\,своб}}{Q_{Rn,\,равн.}} \times 100\ \%. \qquad (I.9)$$

Для различных горных пород и руд значения коэффициента $K_{эм}$ изменяются от долей процента до нескольких десятков процентов.

Первичные урано-радиевые и ториевые минералы характеризуются слабым эманированием, а вторичные - более высоким. Эманирование горных пород зависит от степени нарушения структуры минералов, наличия микро- и макроскопических дефектов в них, от химического

состава и содержания жидкости в породах, от температуры и давления. Значение коэффициента эманирования может существенно возрастать при тектонических нарушениях, выветривании пород, оползневых явлениях, прогибаниях приповерхностных образований и т.п.

Таблица I.I.

Наиболее вероятные значения $K_{эм}$ порошковых проб урановых руд

Руды	Месторождения	$K_{эм}$, %
Первичные	Гидротермальные	10 - 15
	Гипогенные метасоматические, осадочные	15 - 25
Вторичные	Гидротермальные	20 - 25
	Метасоматические, осадочные:	
	в сланцах и известняках	30 - 40
	в углях, торфяниках	40 -60

При расчетах эманационных полей используется значение $K_{эм}$ порошковых проб, определенное в конкретных условиях с учетом температуры и влажности геологического объекта.

I.4 ДИФФУЗИЯ ЭМАНАЦИЙ

Эманации в результате отдачи атомов и диффузии выделяются в поры и трещины пород, где они и мигрируют под действием газовой диффузии, абсорбционной диффузии и конвекции. Основным процессом, с помощью которого осуществляется распространение эманации в породах является диффузия, обусловленная наличием градиента концентрации эманации. Параметрами процесса диффузии являются коэффициент диффузии и диффузионная длина.

Коэффициент диффузии Д численно равен количеству эманации, проходящему в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной к направлению x, при градиенте концентрации эманации, равном единице

$$Д = -\frac{dQ}{dt}\left(S\frac{dq}{dx}\right)^{-1}, \qquad (I.10)$$

где $\frac{dQ}{dt}$ - количество эманации, проходящее в I с через площадку среды $S = I\ см^2$;

$\frac{dq}{dx}$ - градиент концентрации, равный $I\ Ки / см^4$.

Размерность коэффициента диффузии - $см^2 / с$

При определении истинных значений Д необходимо учитывать пористость пород. Поэтому различают истинный Д и кажущийся $Д_к$ коэффициенты диффузий, соответствующие единичным градиентам поровой q концентрации и объемной q' концентрации в породе с известной пористостью $К_п$

$$q' = q K_п \quad ; \quad Дк = \frac{Д}{К_п} . \qquad (I.II)$$

Величина $Д_к$ зависит от пористости среды, структуры пор, степени заполнения их водой и воздухом и температуры.

В естественных условиях $Д_к$ фактически определяется не только диффузионным переносом, но и такими факторами как конвекция и сорбционная диффузия. Поэтому при наличии газовой и сорбционной диффузии скорость распространении эманации часто характеризуется эффективным коэффициентом диффузии $Д_{эфф.}$, учитывающим поглощение эманации единицей объема сорбента. Многообразие пород по составу и структурным особенностям их сказывается в различии диффузионных параметров радона в горных породах (табл. I.2).

Таблица I.2.

Диффузионные параметры радона в горных породах

Среда	$Д_к$ 10^{-2}, $см^2/с$	$l_д$, см	$К_п$
Сухой кварцевый песок	4.5	I48	43
Кора выветривания гранитов	2.I	I00	I9
Глинистая кора выветривания	0,32	39	6
Элювиально-делювиальные отложения, увлажненные	0.5	49	23
Брекчия диабаза	0.023	I0.5	-
Хлористый сланец	0.0I	6.9	-
Трещиноватый трахилипарит	0.55	5I	I2
Песчаник в зоне дробления	0.07	I8.3	-
Гранодиорит	0.0I	6.9	-
Кора выветривания гранодиоритов	0.5	49	-

С увеличением влажности среды коэффициент диффузии уменьшается, что наглядно иллюстрируют данные табл.I.3.

В приповерхностном слое рыхлых отложений на диффузионный

Таблица I.3.

Изменение коэффициента диффузии эманации при различной влажности глинисто-песчанистых отложений

Влажность, %	0	3.0	4.3	7.6	8.3	12.5	17.0
Коэффициент диффузии 10^{-2} $см^2/с$	6.5-7.0	6.5	6.0-6.5	5.0	4.5-5.0	2.0	0.3-0.5

процесс накладывается конвекционный перенос эманации, обусловленный влиянием метеорологических факторов (атмосферного давления, промерзания и увлажнения почвы, что и определяет расстояние распространения эманации от места ее образования. Для радона расстояние миграции зависит от характера горных пород и рыхлых отложений и составляет от I-2 до 8-I0 м. Учитывая, что радон хорошо растворяется и переносится подземными водами, то миграция его может достигать десятки и сотни метров от эманирующего объекта.

1.5 ЭМАНАЦИОННОЕ ПОЛЕ ЭМАНИРУЮЩИХ ОБЪЕКТОВ

Основным параметром газового поля является поровая концентрация эманации, характеризующая количество эманации в объеме воздуха, извлеченного из пор породы.

В случае, когда вся выделяющаяся в рыхлые покровные отложения эманация в них сохраняется, никуда не перемещаясь, концентрация радона Q_{Rn}, определяемая эманированием наносов $K_{эм}$ рассчитывается по формуле насыщенного слоя

$$Q_{Rn} = \frac{K_{эм} \, Q_{Ra} \, \rho}{K_п}, \qquad (1.12)$$

где Q_{Ra} - концентрация радия в породе ; ρ - плотность породы,

$K_п$ - пористость породы ;

При концентраци радия в породе 1.0 10^{-12} г / г, коэффициенте эманирования наносов (25 %), плотности (I,5 $г/см^3$) и пористости (30 %) получим

$$Q_{Rn} = \frac{0.25 \times 1.0 \cdot 10^{-12} \times 1.5}{0.3} \times 10^{13} = 12.5 \text{ эман} .$$

При удалении от эманирующих объектов наблюдается затухание эманационных аномалий. Важное значение приобретает знание глубинности съемки, т.е. максимальной глубины залегания рудного объекта, на которой этот объект может быть обнаружен современной аппаратурой.

При оценке глубинности эманационной съемки используется понятие физическая глубинность.

Физическая глубинность эманационной съемки $h_{физ}$ определяется расстоянием от границы эманирующего слоя, в котором газовый ореол в покрывающих отложениях затухает до минимальной концентрации (Рис. I.2)

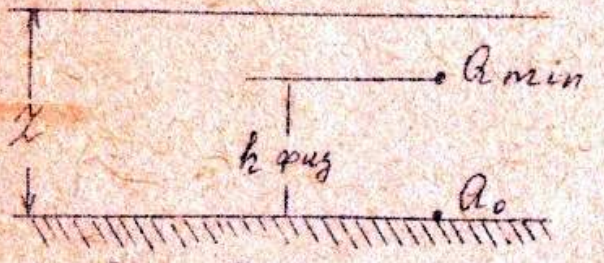


Рис. I.2 К определению физической глубинности эманационного метода

Физическая глубинность метода рассчитывается по формуле

$$h_{физ} = 2{,}3 \sqrt{\frac{Д_к}{\lambda}} \lg \frac{Q_o}{Q_{min}}, \quad (I.13)$$

где Q_o - концентрация эманации на границе активный пласт - покровные отложения;

Q_{min} - минимальная концентрация радона в покровных отложениях;

$Д_к$ - кажущийся коэффициент диффузии;

λ - постоянная распада радона.

Приняв Q_{min} = 37 Бк /л, Q_o = 370 Бк/л и $Д_к = 10^{-2}$ см^2/с при постоянной распада радона, равной 2.098 10^{-6} с$^{-1}$, получим

$$h_{физ} = 2.3 \sqrt{\frac{10^{-2}}{2.098\ 10^{-6}}} \lg \frac{370}{37} = 1{,}58 \text{ м}.$$

При Q_o = 3700 Бк/л и Q_{min} = 37 Бк/л; $h_{физ} \approx 3$ м

Ориентировочно физическую глубинность эманационной съемки можно оценить по данным, приведенным в табл.I.4.

Таблица I.4.

Глубинность эманационной съемки по радону в различных условиях

$Д_к$, см^2/с	$\frac{Q_o}{Q_{min}}$	$h_{физ}$, м	$Д_к$, см^2/с	$\frac{Q_o}{Q_{min}}$	$h_{физ}$, м
0.05	1000	11	0.001	1000	1.5
0.05	100	8	0.001	100	1.0
0.01	1000	5	0.0002	1000	0.6
0.01	100	3	0.0002	100	0.4

2. АППАРАТУРА И ОБОРУДОВАНИЕ

В практике широкое распространение получили приборы, применяемые для измерений концентраций радиоактивных газов (ℓ_n, T_n).

Эти приборы называются эманометрами.

Эманометры применяются для определения концентрации и природы эманаций в пробах почвенного воздуха, они могут быть использованы для определения радона в водах, определения эманирующей способности пород и руд, а также при дозиметрическом контроле в горных выработках, служебных помещениях и т.д.

В различные годы нашей промышленностью были выпущены эманометры, принцип работы которых основан на эффекте ионизации (СГ-II, ЭМ-2) и сцинтилляционные приборы / ЭМ-6 (ЭМ- 6П, ЭМ-6Л), ЭМ-6 М "Радон" /, а также РГА-01 "Глициния".

Определение концентрации радиоактивных газов ионизационными эманометрами основано на измерении ионизационного тока, создаваемого в камере альфа-частицами эманаций при их распаде. Если на электроды ионизационных камер подать разность потенциалов, соответствующую напряжению области насыщения вольт-амперной характеристики камеры, то в ней возникнет ток, величина которого пропорциональна количеству ионов, образовавшихся в камере в результате распада атомов радона или торона, альфа-частицы которых вызвали ионизацию воздуха.

При определении концентрации эманаций сцинтилляционными эманометрами измеряется скорость счета сцинтилляций, возникающих под действием α - частиц эманации на поверхности чувствительного слоя, нанесенного на стенки эманационной камеры.

Каждый из вышеупомянутых типов эманометров имеет свою область применения, имеет определенные достоинства и недостатки.

Эманометр СГ-II имеет хорошие эксплуатационные характеристики, одной из важных является высокая чувствительность (I,0 ÷ I,5 Бк/м^3 / дел/мин). Цену деления прибора можно менять в довольно широких пределах, что позволяет использовать прибор для измерения эманаций различной активности (от единиц Бк/м^3 до нескольких тысяч). Недостатки : относительно большой вес и невозможность работать в сырую погоду из-за утечек тока через изоляторы.

Эманометр ЭМ-2 характеризуется простотой конструкции, высокой надежностью, что позволяет использовать прибор в трудно -

доступных районах, где не требуются измерения слишком высокой точности.

Эманометр ЭМ-6П имеет относительно небольшой вес, возможность быстрого взятия отсчета, непосредственно по шкале прибора (и часто при хорошей "укладке" диапазонов сразу же в общепринятых единицах измерения без дополнительных пересчетов). Прибор имеет достаточную чувствительность. Недостатки: наличие относительно сложной электронной схемы, а это требует при настройке и ремонте квалифицированных работников.

Эманометр ЭМ-6М "Радон" имеет большую по сравнению с ЭМ-6П чувствительность, более широкий диапазон измерений, наличие индикатора дискретного счета, характеризуется большей надежностью в эксплуатации. Недостатки - ремонт требует квалифицированного обслуживающего персонала.

Наиболее совершенным типом прибора для измерения радиоактивных газов в настоящее время является РГА-01 "Глициния", выполненный на основе микроэлектронных функциональных элементов и узлов в интегральном исполнении. Индикация измеряемых параметров - цифровая.

В комплект почти всех типов эманометров входит одинаковое вспомогательное оборудование: пробоотборники, резиновые шланги, насос с пылеуловителем и осушителем.

П р о б о о т б о р н и к - устройство для взятия пробы почвенного воздуха из шпура (бурки). Представляет он собой металлическую трубку, вмонтированную в металлический кожух конической формы, обеспечивающий необходимое уплотнение при опускании последнего в шпур (бурку). В нижней части трубки имеются отверстия для взятия пробы воздуха. В верхней части пробоотборника расположена ручка для вытаскивания его из шпура и вделанный штуцер для подсоединения резинового шланга к пробоотборнику.

Кроме стандартного возможно также использование специальных пробоотборников:

а) для плотных грунтов и горных пород - шестигранный с отверстиями в нижней части ;

б) в глубоких скважинах - упрощенный пробоотборник для отбора проб без перекрытия шпура, представляет собой перфорированную трубку длиной I,0 - I,5 м спускаемую на резиновых шлангах ;

в) для глубоких скважин с перекрытием (в случае слабых ано-

малий) - пакерзонды с одной или двумя манжетками, в которые нагнетают воздух, такая конструкция пробоотборника препятствует попаданию в детектор измерительного прибора атмосферного воздуха (уменьшает вероятность "разубоживания" исследуемой пробы почвенного воздуха).

В качестве соединений в различных типах эманометров используются толстослойные резиновые шланги (вакуумные), через которые практически невозможно засасывание атмосферного воздуха при взятии нужной пробы.

Насос большинства типов эманометров (исключение : СГ-II, где поршневой насос вделан в корпус прибора, и РГА-01, оснащенный насосом особой конструкции, где один из детекторов смонтирован на выносном насосе) одинаков и состоит: из корпуса, штока с ручкой, поршня, педали и двух штуцеров с клапанами (входным и выходным, т.е. выпускающим).

В нижней части насоса имеется гнездо, в которое укладывается пылеуловитель.

П ы л е у л о в и т е л ь - конструктивно представляет собой закрытый, чаще всего, пластмассовый стакан с двумя штуцерами, заполненный гигроскопической ватой.

Назначение пылеуловителя в том, чтобы уменьшить попадание в детектор прибора частичек пыли, которые могут привести к появлению в ионизационных камерах, значительного по величине тока (до 500 - 600 дел/мин), связанного с электризацией пылинок за счет трения. В сцинтилляционной камере пыль может покрыть сцинтиллирующее вещество и сделать невозможным выход световых квантов оттуда.

При работе в сырую погоду эффективно вносить в пылеуловитель еще и осушитель ($Ca\,Cl_2$), который препятствует попаданию влаги внутрь детектора, могущей значительно исказить результаты измерений.

Профилактический уход за оборудованием включает:
- поршень насоса требует систематической смазки кожаных манжет (лучшая смазка - касторовое масло или очищенный вазелин ; нельзя смазывать манжеты машинным маслом, т.к. при этом они пересыхают и деформируются, а это ухудшает работоспособность насоса);
- пылеуловитель (да и пробоотборник) следует ежедневно вскрывать и прочищать от пыли.

2.I ЭМАНОМЕТР СГ - II

Полевой эманометр типа СГ-II предназначен для измерения ионизационным способом концентрации радона и торона в пробах почвенного воздуха.

Эманометр собран в виде компактного переносного прибора на раздвижной деревянной треноге и состоит из следующих основных частей :

а) измерительного прибора ;
б) детектора излучения ;
в) пульта управления ;
г) поршневого насоса ;
д) треноги ;
е) компенсатора ;
ж) переходника ;
э) эрительной трубы ;

а также пылеуловителя, соединительных резиновых шлангов и пробоотборника.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПРИБОРОМ в эманометре служит электрометр СГ-IМ, который способен измерять слабые ионизационные токи порядка 10^{-9} ÷ 10^{-18} ампер.

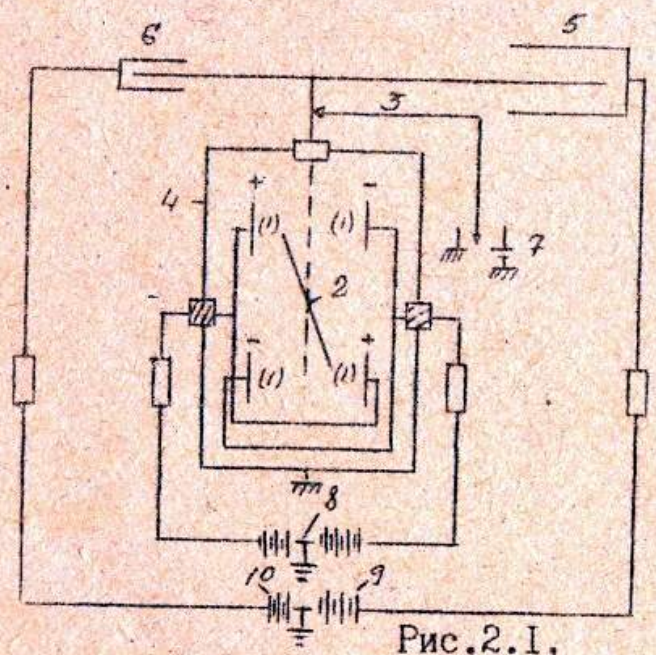


Рис.2.I.

Конструктивно он представляет устройство, состоящее из двух электродов: подвижного и условно неподвижного (этот электрод неподвижен только в момент измерений ; ножевая система, которая и является этим электродом, может при помощи двух барабанов перемещаться на определенное расстояние).

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЭМАНОМЕТРА СГ-II

I - ножи ; 2 - крутильная кварцевая система ; 3 - разрядник ; 4 - корпус электрометра ; 5 - ионизационная камера ; 6 - компенсатор ; 7 - сухой элемент (1,6 ФМЦ-3), служит для проверки чувствительности электрометра ; 8, 9, I0 - батареи для подачи потенциалов на ножи, ионизационную камеру и компенсатор.

Подвижным электродом электрометра является крутильная кварцевая система, состоящая из вертикальной кварцевой нити (диаметр 6 мкм), в средней части к которой прикреплена горизонтальная нить с двумя индексами / отростками, вертикально расположенными по концам (коромысло системы)/. Верхний конец основной нити подсоединен к бифиляру, состоящему из двух накрест расположенных кварцевых колец. Бифиляр, в свою очередь, закрепляется в стержне корректора, при помощи верхней гайки которого можно менять натяжение крутильной нити, а нижней гайкой крутильную систему можно закручивать на желаемый угол при юстировке прибора.

Другой конец вертикальной нити крепится к металлическому стержню, закрепленному, в свою очередь, в янтарном изоляторе. Вся кварцевая крутильная система, за исключением бифиляра, покрывается тонким слоем электронопроводящего металла, что достигается катодным распылением.

Коромысло системы / горизонтальная нить с индексами / помещается между двумя парами накрест расположенных ножей, которые являются вторыми (неподвижным) электродом электрометра.

Ножевая система - это четыре металлические пластины $\int$ - образной формы, попарно укрепленные на двух крестовинах, вращающихся вокруг втулки янтарного изолятора. Попарное перемещение ножей производится двумя барабанами, на поверхности которых нанесены штрихи с индексацией от 0 до 10. Вращением барабанов можно изменить расстояние между ножами, а следовательно и чувствительность электрометра.

От источника питания на ножи подается разность потенциалов 96 В* (+ 48 В на два расположенных по диагонали ножа и - 48 В на два других). Меняя расположение ножей относительно центральной части, где находится крутильная система, можно измерить величину электростатического поля, действующего на заряд поступающий на крутильную нить с ионизационной камеры. Вся эта система расположена внутри корпуса электрометра цилиндрической формы.

В качестве отсчетного устройства в электрометре применяется микроскоп 70-кратного увеличения, который ввинчивается

Прим. * При любом напряжении на ножах "кварцевая система" не подвержена порче.

в плиту кремальеры, прикрепленной с внешней стороны корпуса, и фиксируется в ней упорным винтом с пружиной.

Вращением кольца объектива добиваются четкого изображения одного из индексов (ближайшего) кварцевой системы, а при помощи кольца окуляра получают четкое изображение шкалы микроскопа, которое нанесено на стекло окуляра. Вращением окуляра также стараются, чтобы изображение индекса системы и штрихов шкалы были бы параллельными.

ДЕТЕКТОРОМ эманометра служит цилиндрическая ионизационная камера, которая состоит из двух разъемных полукамер, общим объемом в 500 $см^3$. Каждая полукамера снабжена краном. Ионизационная камера помещается в корпусе прибора и закрепляется в нем двумя крышками. При помощи кольцевого фланца на полукамере и резиновой прокладки обеспечивается герметичность камеры.

Камера эманометра легко заменяется запасной при загрязнении её продуктами распада газообразных радионуклидов и быстро дезактивируется.

Между ионизиционной камерой и электрометром расположен переходник, при помощи которого они соединяются друг с другом.

НАСОС расположен в приливе эманометра и имеет емкость в 650 $см^3$.

ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ представляет собой прямоугольную коробку, внутри которой помещены источники питания прибора (шесть батарей типа 48 ПМЦГ-64, служащие для подачи напряжения на ножевую систему электрометра и основную ионизационную камеру с компенсатором ; и один элемент 1.6 ФМЦ, который применяется для проверки чувствительности электрометра). Чертёж электрической схемы прибора помещен на внутренней стороне крышки пульта.

На панели пульта помещены две ручки переключателей: одного (верхнего) на 5 положений, а другого на 2 ("Вкл", "Выкл").

Специальным шестижильным кабелем пульт управления связан с ионизационной камерой, электрометром и компенсатором.

КОМПЕНСАТОР предназначен для компенсации тока натурального рассеяния ($\gamma_{н.р.}$), протекающего в ионизационной камере, он представляет собой малую ионизационную камеру, состоящую из центрального электрода и двух цилиндрических металлических стаканов. Один (неподвижный) стакан через патрубок соединяется с корпу-

сом электрометра, на внутренней стороне неподвижного стакана имеется гнездо треугольной формы, заполненное радиоактивным препаратом (U_3O_8).

В неподвижном стакане вращается подвижной стакан, имеющий окно треугольной формы, точно соответствующее размерам гнезда первого стакана. Путем различного перекрытия радиоактивного препарата в компенсаторе можно создать ионизационный ток, равный по величине, но обратный по направлению току ($J_{н.р.}$), протекающему в детекторе эманометра. Это достигается за счет подачи на корпусы основной ионизационной камеры и компенсатора потенциала противоположного знака.

Устройство эманометра таково, что центральные электроды камеры и компенсатора соединены друг с другом, поэтому поступающие с них заряды противоположного знака на крутильную кварцевую систему взаимно поглощают (рекомбинируют) друг друга.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

Центральный электрод камеры через переходник соединен с центральным электродом компенсатора и крутильной системой электрометра, покрытой электроннопроводящим металлом.

В процессе измерений вся эта система находится под нулевым потенциалом. В то же время на корпус камеры подают отрицательный (или положительный, в зависимости от включения) - 144 В /, на корпус компенсатора противоположный (+ 48 В или -48 В), а между ножами (ΔU = 96 В) потенциалы.

При распаде эманаций исследуемой пробы образовавшиеся альфа-частицы производят ионизацию воздуха, т.е. приводят к появлению в камере ионов обоего знака, которые под действием электростатического поля будут двигаться к электродам, на которые подан потенциал другого знака. Отрицательные ионы будут достигать центрального электрода, а затем и поступать на крутильную систему. Величина поступающего суммарного заряда будет пропорциональна активности (содержанию) пробы.

На заряженную ионами крутильную систему начнет действовать сила, созданная электростатическим полем ножей, которая будет пропорциональна величине заряда(числа ионов поступивших на крутильную систему) и расстоянию между ножами.

Действие этой силы приведет к перемещению крутильной системы, а величина перемещения будет определена по скорости движения индекса нити относительно шкалы (нанесена на окуляр микроскопа) и будет характеризовать значение ионизационного тока, протекающего в ионизационной камере.

Чтобы точнее охарактеризовать величину тока от исследуемой пробы необходимо учесть и значение тока натурального рассеяния, величина которого исключается при помощи компенсатора до введения в ионизационную камеру пробы исследуемого воздуха.

Это достигается путем создания в компенсаторе тока, равного по величине току ($J_{н.р.}$), но противоположного по направлению, и подаваемого на крутильную систему электрометра. Сила компенсирующего тока ($J_{комп.}$) может регулироваться путем изменения величины (площади) излучающей поверхности радиоактивного препарата. Момент полной компенсации определяется в микроскоп - по отсутствию движения нити.

Величина ионизационного тока, обязанная распадом эманаций исследуемой пробы воздуха, определяется по скорости движения нити относительно видимой в микроскоп шкалы и выражается в единицах (дел. / мин.).

Для того чтобы от величины ионизационного тока (в дел/мин) перейти к определению концентраций радиоактивных газов в пробе воздуха - прибор градуируют (эталонируют). Для этого от образцового источника в камеру вводят известное количество радона и определяют создаваемый им ионизационный ток. Градуировку производят при определенных (выбранных сами исполнителями) чувствительностях электрометра ($\mathcal{E}$) прибора.

ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

I. Начинают с установки прибора в рабочее положение:

а) электрометр навертывают на переходник до упора, предварительно установив на нем электрод компенсатора ;

б) в плату кремальеры ввинчивают микроскоп, а к втулке присоединяют компенсатор ;

в) в пульте управления устанавливают источники питания (6 батарей типа 48 ПМЦГ-64 и элемент I.6 ФМЦ). Оба переключателя предварительно ставят в положение "Выкл".

/ Чертеж электрической схемы прибора помещен на внутренней стороне крышки пульта управления / ;

г) прикрепляют к треноге пульт и соединяют его шестижильным кабелем с электрометром и камерой, соответственно надписям у клемм электрометра и на штырьках кабеля.

2. При нахождении переключателя рода работ в положении "I", другого (нижнего) переключателя в положении "Выкл", а барабанов ножей в положении минимума чувствительности (т.е. тогда, когда цифра 10 на барабане стоит против черты на неподвижной втулке) - производят настройку оптической системы. Вращением кольца окуляра добиваются четкого изображения шкалы и фиксирование её в горизонтальном положении, а вращением кольца объектива - четкого изображения индекса нити.

Микрометрическим винтом (возле микроскопа) индекс крутильной системы устанавливают в средней части шкалы (на нуль).

3. Переводом верхнего переключателя из положения "I" (прибор выключен) в положение "2" подают на ножевую систему напряжение, создавая внутри (между ножами) электростатическое поле, которое воздействует на крутильную систему и вызывает её отклонение при наличии на последней остаточных зарядов. Этим же микрометрическим винтом возвращают "изображение" индекса на нуль.

4. Перевод переключателя в положения "3" и "4" не вызывает отклонения индекса крутильной системы. В этих положениях производится определение чувствительности электрометра. Для чего от элемента 1.6 ФМЦ (эталонного) на кварцевую систему через разрядник подается потенциал в 1.5 В (в положении "3" - отрицательный, а в положении "4" - положительный). Подача этого потенциала осуществляется при переводе ручки тумблера в положение " Вкл". Только в этом случае индекс нити отклонится от нулевого штриха на 5-8 делений шкалы (при положении верхнего переключателя в положении "3" в одну сторону, а при "4" - в противоположную).

Число делений шкалы, на которые отклонилоя индекс крутильной системы от нулевой линии при подачи на неё эталонного напряжения, характеризует чувствительность электрометра эманометра.

Чувствительность электрометра тем выше, чем на большее число делений шкалы относительно нулевой линии отклоняется индекс крутильной системы.

Установка нужной чувствительности осуществляется вращением двух барабанов, совмещенных с крестовинами на которых закреплены ножи. Одним (любым) из барабанов индекс нити переводят на определенное число делений, а другим возвращают в нулевое (первоначальное) положение. При осуществлении этой операции тумблер находится в положении "Выкл". Включением тумблера проверяют вновь установленную чувствительность. При производственных измерениях оптимальную чувствительность подбирают исходя из активности исследуемых проб. При низких содержаниях эманаций в пробах прибор настраивают на повышенную чувствительность и наоборот.

Правильность производимых настроечных операций определяется по совпадению показаний прибора при нахождении переключателя последовательно в положениях: "3" и "4".

5. Переводя переключатель в положение "5" - устанавливают рабочий режим эманометра. В этом случае дополнительно подается напряжение на ионизационную камеру (- 144 В) и на компенсатор (+ 48 В).

Отводя разрядник от центрального электрода электрометра можно приступать к измерениям ионизационного тока.

Вначале компенсатором исключают (компенсируют) ток натурального рассеяния, а затем вводят исследуемую пробу воздуха и измеряют создаваемый ей ионизационный ток (в дел / мин) с помощью секундомера по движению нити относительно шкалы, видимой в микроскоп.

При уходе индекса нити за пределы шкалы, то её возвращают с помощью разрядника, которым замыкают цепь "корпус электрометра - крутильная система".

Концентрация радиоактивных газов в исследуемой пробе воздуха определяется по формуле :

$$C_{Rn} = j\gamma, \qquad (2.1)$$

где γ - отсчеты ионизационного тока (в дел /мин),

j - градуировочный коэффициент (в Бк / $м^3$), определяется путем градуировки прибора с помощью жидкого образцового источника (эталона) радия, для определенной чувствительности ($\mathcal{E}$) прибора.

2.2. ЭМАНОМЕТР ЭМ-2

Полевой портативный эманометр ЭМ-2 предназначен для определения концентраций и природы эманаций (радона и торона) в сложных геологоморфологических условиях: в сильнопересеченной, таежной и горной местностях.

В комплект прибора входят: эманометр (пульт управления), пробоотборник, насос с пылеуловителем и осушителем, соединительные резиновые шланги.

ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ эманометра состоит из следующих основных частей:

а) основания с кожухом, б) измерительного прибора, в) детектора радиоактивных газов, г) зарядного устройства, д) переключателя диапазонов, е) потенциометра, ж) батарейного отсека, з) секундомера, и) зрительной трубы с оптической системой.

Измерительным прибором эманометра служит статический вольтметр (дозиметр ДК-02) с электростатической емкостью около 3 мкмкФ. Конструктивно он представляет из себя устройство, состоящее из двух электродов: неподвижного - "У" - образного электрода, который является корпусом миниатюрного электрометра, и подвижного - "У"-образной кварцевой платинированной нити, являющейся измерительной системой прибора.

Угол отклонения кварцевой платинированной нити от неподвижного электрода пропорционален потенциалу, поданному между электродами статического вольтметра, и отсчитывается он по шкале, нанесенной на линзу окуляра оптической системы, дающей 72-кратное увеличение.

Достоинствами статического вольметра является простота и малогабаритность конструкции, способствующие устойчивости электрометра к климатическим и механическим воздействиям, а также линейная шкала с ценой деления 1 вольт на 1 деление, в пределах от 0 до 50 вольт.

ДЕТЕКТОРОМ эманометра является ионизационная камера, которая состоит из двух легко заменяемых в работе / большой (основной) и малой с отверстиями / и центрального стержня (электрода), разделенных между собой изолятором.

При помощи специальной уплотнительной системы камера прижи-

мается к основанию пульта. Простая конструкция крепления полукамер позволяет быстро, в процессе работы, заменять одну камеру другой - в случае заражения её радиоактивными продуктами распада эманаций, а гладкие внутренние поверхности полукамер способствуют оперативной дезактивации их в полевых условиях.

Изоляторы, как статического вольтметра так и камеры, выполнены из фторопласта, обладающего высоким поверхностным удельным сопротивлением ($R_{\text{из.}} = 10^{16}$ Ом · см). Благодаря нулевому водопоглощению высокие изоляционные свойства фторопласта сохраняются при высокой степени влажности воздуха.

Объем ионизационной камеры - I литр.

Эманометр имеет электрическую схему, которая состоит из следующих элементов:

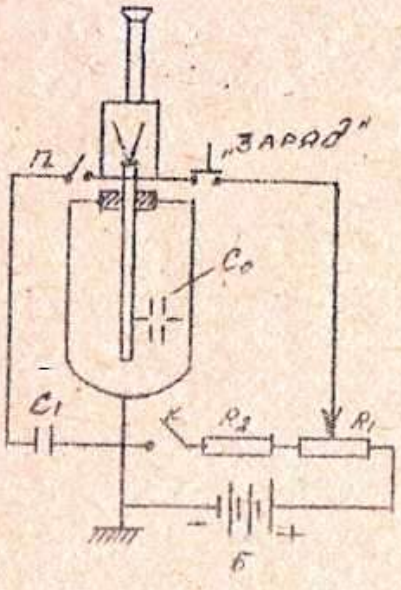


Рис.2.2.

а) сухой батареи 2Э0 ПМЦГ-0,0I / При отсутствии указанной батареи её можно заменить любыми другими источниками напряжения, соединенными последовательно и дающими в сумме ЭДС около 200 В ; в случае больших размеров они могут быть вынесены за корпус эманометра / - для зарядки до 200 В собственной электростатической емкости прибора (конденсатора C_0 = 5 мкмкФ) на I-ой шкале и конденсатора C_2 ($C_2 = C_I + C_0$ =45 пФ + 5 пФ = 50 пФ) на II-ой шкале измерений ;

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРИБОРА

I - источник питания (батарея), 2 - потенциометр R_1

3 - постоянный резистр R_2 , 4 - конденсатор C_I ,

5 - диапазонный переключатель, 6 - кнопка "Заряд" ,

7 - собственная емкость прибора (конденсатор C_0),

8 - статический вольтметр

б) потенциометра R_1 (R = 2 Мом) – для регулирования зарядного потенциала камеры и статического вольтметра ;

в) постоянного резистора R_2 (R = 2 мОм), последовательно включенного с потенциометром R_1 , и служащего для уменьшения разрядного тока батареи, т.е. для увеличения срока её годности ;

г) конденсатора C_1 (45 мкмкФ), подключаемого диапазонным переключателем к собственной емкости прибора (конденсатор C_0) параллельно – для расширения пределов измерения ;

д) кнопки "Заряд" – для подключения источника питания к измерительной схеме, состоящей из статического вольтметра и ионизационной камеры.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

При измерениях, с помощью насоса, посредством пробоотборника и соединительных резиновых шлангов, в камеру закачивают пробу почвенного воздуха.

Ионизационная камера эманометра гальванически соединена со статическим вольтметром и представляет собой цилиндрический конденсатор с собственной емкостью (C_0 = 5 мкмкФ). Центральный электрод камеры вместе с платинированной кварцевой нитью образуют внутреннюю обкладку конденсатора, а внешней обкладкой конденсатора (C_0) служат корпуса камеры и статического вольтметра.

Если на обкладки этого конденсатора подать напряжение от источника питания в 200 В ("0" шкалы прибора), то под действием ионизирующего излучения (альфа-частицы), возникающего в камере при распаде эманаций исследуемой пробы почвенного воздуха в ней появляется ионизационный ток, который приведет к понижению потенциала системы " камера – электрометр ".

Так как измерения производят не выходя из режима насыщения вольт-амперной характеристики камеры, то величина ионизационного тока зависит только от активности пробы (концентрации Rn или Tn) и не зависит от напряжения на электродах камеры.

Скорость разряда конденсатора (C_0) зависит от величины ионизационного тока, оценка которого производится по скорости движения нити электрометра относительно шкалы. Измерения производят-

ся за определенный промежуток времени, который фиксируется секундомером. Промежуток времени измерения выбирается исходя из активности пробы, которая вызывает протекание в детекторе пропорционального ей тока.

Величина измеряемого тока определяется в (дел /мин).

После градуировки прибора - от значений тока переходят к нахождению концентрации радона или торона в пробе.

Формула по которой рассчитывается общее количество эманаций в пробе следующая :

$$Q_{Rn} = J \times (I_i - I_{н.р.}), \qquad / 2.2 /$$

где J - цена деления эманометра, определяется при градуировке прибора для каждого из диапазонов в (Бк/ дм^3 / дел /мин) ;

I_i - значение тока от исследуемой пробы в определенный момент времени после закачивания воздуха в камеру в (дел / мин) ;

$I_{н.р}$ - ток натурального рассеяния (в дел / мин), определяется до введения в детектор исследуемой пробы воздуха.

Для расширения пределов измерений - во втором положении диапазонного переключателя, т.е. положения (I : 10) к измерительной схеме подключается конденсатор C_I (C_I = 45 мкмкФ), благодаря чему происходит загрубление чувствительности прибора в 10 раз.

Если на I-ом диапазоне прибор позволяет производить измерения при минутном замере от 0 до 370 Бк/дм^3, то на II-ом диапазоне от 0 до 3 700 Бк / дм^3.

Пределы измерения прибора можно значительно расширить, сократив время измерения. Однако такая методика взятия отсчетов приводит к некоторому уменьшению точности измерений.

ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

I. Работу начинают с подсоединения к клеммам эманометра источника питания с U_n = 200 В. Вначале подсоединяют положи-

тельный полюс батареи к клемме " + ", а только затем " - ". Это необходимо для того, чтобы избежать неприятного поражения электрическим током при нечаянном касании другого полюса батареи при ином включении источника питания. Все места подсоединений должны быть хорошо изолированы изоляционной лентой. Изоляцию нужно производить сразу же при подсоединении клеммы " + ".

2. Ориентируя относительно источника света прибор, добиваются хорошего видения шкалы эманометра. Подсветка шкалы осуществляется через матовое стекло на кожухе прибора и металлическое зеркальце, расположенное внутри корпуса эманометра под зрительной трубой.

3. При нажатой кнопке "Заряд" плавным поворотом ручки потенциометра устанавливают нить статического вольтметра на нуль шкалы (или на любое деление 50 штриховой шкалы).

4. Поднеся к камере источник ионизации (например, образцовый источник радия), и отпустив кнопку "Заряд", в зрительную трубу можно наблюдать движение нити относительно шкалы, что указывает на протекание в камере ионизационного тока. Перевод переключателя диапазонов из положения (I : I) в положение (I : IO) должен вызвать уменьшение скорости движения нити в IO раз.

Последующие операции с прибором сводятся к определению величины саморазряда и градуировке эманометра по общепринятой методике, последняя операция имеет своей целью определение цены деления (градуировочного коэффициента) для каждого из двух диапазонов.

Подсоединив пробоотборник к насосу с пылеуловителем и к штуцерам эманометра при помощи вакуумных резиновых шлангов, можно приступать к определению радиоактивности эманационных проб.

2.3 ЭМАНОМЕТР ЭМ-6

Сцинтилляционный эманометр ЭМ-6 выпускается в двух вариантах: полевой ЭМ-6П и лабораторный ЭМ-6Л.

Эманометр ЭМ-6П предназначен для определения концентрации и природы эманаций в пробах почвенного воздуха в условиях поля.

Эманометр ЭМ-6Л служит для определения концентрации эманаций в лабораторных условиях.

Наибольшее распространение в практике получил эманометр типа ЭМ-6П.

В комплект эманометра ЭМ-6П входят: эманометр (пульт управления) с головным телефоном, пробоотборник, насос с пылеуловителем и осушителем, соединительные резиновые (вакуумные) шланги.

Собственно эманометр (пульт) состоит из таких узлов: измерительной панели, монтажного каркаса, батарейного отсека, детектора, состоящего из сцинтилляционной камеры и ФЭУ.

При помощи накидной завинчивающейся полумуфты камера крепится к нижней части пульта.

На измерительной панели расположены : шкала микроамперметра, колодка штепсельного разъема для подключения головного телефона и органы управления / переключатель диапазонов и рода работ (совмещенный), регулятор режима питания, регулятор усиления /.

Микроамперметр выполняет функцию контрольного (при установке режима питания) и измерительного приборов, когда производятся определение концентраций эманаций.

Совмещенный переключатель рассчитан на пять положений : "Выключено", "Контроль", "50" (первый поддиапазон), " 250 " (второй поддиапазон), " 1250 " (третий поддиапазон).

Ручка "Режим" переменного резистора предназначена для установки режима питания цепей эманометра и установки величины высокого напряжения.

Колодка штепсельного разъема предназначена для подсоединения головного телефона, выполняющего роль звукового индикатора - при измерениях, а при настройке - роль устройства контролирующего работу электрической схемы прибора.

Ручка потенциометра " УСИЛЕНИЕ ", закрытая навинчивающейся крышкой, предназначена для настройки порога дискриминации.

Монтаж усилительно-регистрирующейся схемы выполнен на вертикальной панели, жесткозакрепленной с лицевой.

К дну кожуха крепится узел ФЭУ-35, соединенный с монтажной панелью гибкими проводниками. ФЭУ находится в светозащитном чехле и прижимается специальной пружиной к светопроводу из органического стекла, которая придает ему устойчивое положение. Оптический контакт между фотоумножителем и светопроводом обеспечивается вазелиновым маслом.

Другой стороной светопровод выходит в эманационную камеру цилиндрической формы, объем которой равен 0.5 л.

Внутренняя поверхность камеры покрыта люминисцирующим веществом ZnS (Ag , Ni), светящимся при попадании в него альфа-частиц радона или торона.

В выступе корпуса, где крепится эманационная камера, сделаны два штуцера с кранами, через которые сначала вводится проба воздуха в камеру, а затем выводится - при прокачивании.

Батарейный отсек выполнен в виде выдвигающегося ящика, в который укладываются две батареи 11.5 ПМЦГ-120.

В комплект прибора наряду со сменными эманационными камерами входит и контрольная камера, в которой в сцинтиллирующий люминафор на стеклянной пластинке внесен источник альфа-излучения (Pu^{237}). Эта камера служит для контроля и регулировок прибора.

Сам пульт прибора может переноситься на ремнях, на груди оператора, а во время работы крепится на насосе.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

Измерение концентрации эманаций в исследуемых пробах воздуха основано на регистрации сцинтилляций, возникающих в люминафоре (сернистом цинке), нанесенным тонким слоем на стенки камеры при попадании туда α - частиц, образующихся при распаде радона или торона.

Сцинтилляции при помощи ФЭУ преобразуются в электрические импульсы. Эти импульсы усиливаются, дискриминируются, а затем регистрируются измерителем скорости счета со стрелочным индикатором.

Прибор имеет электрическую схему, основными узлами которой являются:

1. Сцинтилляционная камера и фотоэлектронный умножитель (ФЭУ).

2. Видеоусилитель, усиливающий импульсы сцинтилляционного счетчика.

3. Дискриминатор, выделяющий полезные сигналы и подавляющий "шумовые" импульсы.

4. Нормализатор, формирующий стандартные электрические импульсы, одинаковые по амплитуде и длительности.

5. Измеритель скорости счета, состоящий из согласующего каскада и интегрирующего контура с микроамперметром.

6. Высоковольтный преобразователь, обеспечивающий высокое напряжение для питания ФЭУ.

Возникающие на стенках камеры от α - частиц радона и торона световые вспышки воздействуют на фотокатод ФЭУ и вырывают из него электроны, число которых увеличивается за счет вторичной эмиссии на динодах ФЭУ, поток электронов достигая анода ФЭУ вызывает появление на его нагрузке отрицательных импульсов напряжения. Средняя частота этих импульсов пропорциональна средней частоте вспышек, а амплитуда - интенсивности вспышек.

С анодной нагрузки импульсы поступают на вход видеоусилителя, состоящего из четырех усилительных каскадов, собранных на транзисторах. Второй и третий каскады являются усилительными, а первый и четвертый - согласующими (эмиттерные повторители). Усилители охвачены отрицательной обратной связью для снижения искажений переднего фронта импульса. В коллекторной цепи второго усилительного каскада находится потенциометр, при помощи которого можно регулировать коэффициент усиления в пределах 50 ÷ 150. Этим регулятором производится установка плато счетной характеристики схемы.

Усиленный по амплитуде спектр импульсов подается на дискриминатор, собранный по схеме заторможенного блокинг-генератора, в коллекторной цепи которого находится запертый напряжением делителя д и о д . Этот диод отпирается, когда амплитуда импульса напряжения превысит напряжение запирания диода.

Так как спектр электрических импульсов, снимаемых с ФЭУ состоит из полезных импульсов и "шумов" (амплитуда последних несколько меньше амплитуды полезных сигналов), то можно установить такой п о р о г д и с к р и м и н а ц и и, что "шумы" будут задерживаться, т.е. подавляться, а полезные сигналы проходить в следующий каскад - н о р м а л и з а т о р .

Нормализатор собран или по схеме триггера или ждущего блокинг-генератора. На выходе этого каскада формируются стандартные импульсы, по форме близкие к прямоугольным.

Затем импульсы поступают в интегрирующий контур, где они преобразуются в постоянный электрический ток, величина которого пропорциональна частоте поступающих импульсов.

Величина тока измеряется микроамперметром, включенным в цепь интегрирующего контура.

В цепь этого контура включены три переменных резистора, которые применяются для подстройки поддиапазонов.

Для нормальной работы ФЭУ необходимо стабилизированное высокое напряжение (порядка 1250 В), которое поступает от высоковольтного преобразователя.

Высоковольтный преобразователь включает в себя блокинг-генератор, преобразующий постоянное напряжение батарей ($\approx$ 6 В) в переменное, которое затем выпрямляется, умножается и стабилизируется последующими элементами схемы.

Головной телефон (звуковой индикатор) включается в коллекторную цепь блокинг-генератора нормализатора и шунтируется резистором так, чтобы его отключение не нарушало нормальную работу всего прибора.

ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

Перед началом измерений необходимо:

- вставить в батарейный отсек комплект источников питания с учетом полярности, при выполнении этой операции переключатель рода работ должен находиться в положении "Выкл" ;

- если необходимо, то механическим корректором стрелку микроамперметра перевести в положение " 0 " ;

- следует проверить плотность навинчивания полумуфты, при помощи которой камера плотно прижимается к корпусу пульта. При неполном навинчивании электрическая цепь питания прибора не будет замкнута и прибор не будет работать ;

- включение прибора осуществляется переводом переключателя в положение "Контр". В этом положении переключателя определяется степень пригодности источников питания, тут микроамперметр вклю-

чается в режим контрольного вольтметра. Режим питания устанавливается вращением ручки "Режим" на отметку 40 шкалы;

- в положениях "50", "250", "1250" прибор включен для измерения концентрации в эманах (в системе единиц СИ она будет выражена в Бк / $дм^3$) ;

- при помощи контрольной камеры с учетом паспортных данных проверить чувствительность прибора, эту операцию в процессе проведения полевых работ осуществлять систематически, внося данные в спец.журнал - проверки чувствительности ;

- перед началом работ необходимо провести градуировки различных диапазонов прибора, эта операция выполняется систематически (не реже 2-3 раз в месяц) и каждый раз после изменения чувствительности (более ± 10 % от исходной) эманометра, а также ремонта или замены каких-либо элментов (узлов) электрической схемы прибора.

Измерение концентрации эманации производится при собранной схеме, включающей : пробоотборник, насос (с пылеуловителем) и прибор посредством вакуумных резиновых шлангов.

ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ: чтобы предохранить ФЭУ от выхода из строя, необходимо следить, чтобы краники возле детектора были бы закрыты, за исключения моментов отбора проб.

Измерение на профиле

1. Установить пробоотборник в приготовленное отверстие и тщательно утрамбовать для исключения возможности подсоса атмосферного воздуха.

2. Произвести 4-5 "качков" насоса с интервалами 2-3 сек.

3. В зависимости от концентрации эманации в почвенном воздухе установить нужный диапазон измерений и произвести отсчет.

4. Быстро прокачать камеру атмосферным воздухом. При прокачке воздухом следует произвести 10-15 "качков". Нужно помнить, что чем меньше времени уйдет на взятие отсчетов и продувание атмосферным воздухом, тем менее будет заражение камеры продуктами распада радона.

После работы на точках с повышенной концентрацией радона при измерениях следует учитывать остаточный фон.

При сильных заражениях камеры необходимо её заменить.

2.4 ЭМАНОМЕТР ЭМ-6М "РАДОН"

Сцинтилляционный эманометр ЭМ-6М более совершенный по сравнению с ЭМ-6 прибор. Он имеет более высокую чувствительность, больший диапазон измерения интенсиметра, блок дискретного счета и обладает повышенной надежностью эксплуатации и стабилизированным напряжением питания.

В конструктивном отношении прибор "Радон" более удобен в работе, так как эманационная камера выведена на верхнюю панель пульта. Пульт носится на ремнях, и он не связан с насосом конструктивно, что делает работу с прибором более удобной. Это особенно проявляется при настройке и регулировках прибора в лаборатории.

Схемная часть прибора изготовлена в соответствии с требованиями современного приборостроения, в связи с чем прибор "Радон" обеспечивает получение результатов измерений с нормированными погрешностями.

Результаты измерений эманометром "Радон" выражаются числом импульсов в секунду ($с^{-1}$), т.е. характеризуют активность содержащегося в измерительной камере детектора радона и ближайших продуктов его превращения. Диапазон измерений 0 - 5000 имп/с разбит на четыре поддиапазона с пределами измерений в каждом от 0 до 50, 250, 1000 и 5000 имп/с. В пределах каждого поддиапазона нелинейность графика не превышает ± 5 %.

Чувствительность прибора не менее 0.76 имп/с на 1 Бк (или 2.8 имп/с на 1 эман).

Точное определение чувствительности прибора и величины пересчетного коэффициента производится при градуировании прибора.

Рабочий комплект эманометра состоит из индикаторного прибора и стандартных принадлежностей. Индикаторный прибор представлен двумя блоками: измерительным пультом и блоком пересчета. Принадлежностями являются: насос, два пробоотборника (для мягких и твердых почв), сумка с ремнем для ношения, контрольная камера, 9 рабочих (запасных) камер, запасные части, инструмент и принадлежности, укладочные ящики.

Электрическое питание схемы эманометра осуществляется от шести элементов типа 373 ("Марс" или "Орион М"), соединенных последовательно. Продолжительность работы с комплектом питания - не менее 42 ч.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

Определение концентрации эманаций основано на регистрации сцинтилляций от α - частиц, испускаемыми радиоактивными элементами пробы, с помощью открытого детектора (альфа-датчика).

Детектором излучения в приборе служит сцинтилляционнный счетчик, состоящий из эманационной камеры, внутренняя поверхность которой покрыта тонким слоем порошка К-9 (сернистого цинка, активизированного серебром), и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ-35).

Альфа-частицы, возникающие при превращении ядер радона, а с течением времени и α -частицы, возникающие при превращении продуктов распада радона (RaA, RaC, RaC') при взаимодействии с люминафором вызывают там сцинтилляции (с длинной волны 400-450 нм). Затем кванты света через светопровод (усеченный конус из органического стекла, оконтуриваемый отражающим рефлектором) поступают на фотокатод ФЭУ-35 и вызывают появление в его анодной нагрузке электрических сигналов - импульсов тока отрицательной полярности. Дальнейшее прохождение импульсов осуществляется через эмиттерный повторитель, импульсный усилитель, амплитудный дискриминатор, нормализатор и т.д. /рис.2.3 /.

Эмиттерный повторитель служит для согласования выхода датчика со входом импульсного усилителя. Тракт импульсных усилителей служит для усиления отрицательных электрических импульсов, поступающих с датчика (детектора). Полоса пропускания тракта обеспечивает усиление импульсов от 0.5 до I0 мкс. Динамический диапазон тракта усиливает импульсы с амплитудой от I до 50 мВ.

Усиленные импульсы от альфа-частиц в амплитудном дискриминаторе выделяются (полезные сигналы), а "шумовые" импульсы, возникающие в ФЭУ подавляются. С помощью нормализатора (триггер) импульсы стандартизируются и направляются на интенсиметр.

Измерение средней скорости счета импульсов и индикация результатов измерений осуществляется на устройстве, состоящем из интенсиметра с микроамперметром и дозирующими конденсаторами.

Блок пересчета включает триггер, усилитель ЭМСа, электромеханический счетчик типа МЭС-54, активный делитель и преобразователь. Триггер понижает частоты следования импульсов, поступающих на вход усилителя ЭМС, где импульсы тока усиливаются и поступают на МЭС-54 для регистрации их количества.

Цепи триггера питаются пониженным напряжением в 1.4 В, осуществляемом на активном делителе. Напряжение необходимое для питания обмотки ЭМС достигается преобразователем, который преобразовывает постоянное напряжение в 5.5 вольта в постоянное напряжение в 40 вольт.

Блок питания служит для создания стабилизированных напряжений: 5,5 В ; 1,4 В ; 700 ÷ 1200 В.

Напряжение (- 5.5 В) питает транзисторные каскады прибора. Напряжение в -1,4 В служит для питания каскадов на туннельных диодах в измерительном пульте. Для питания ФЭУ подается напряжение в 700 ÷ 1200 В.

Первичным источником питания в блоке являются шесть последовательно соединенных элементов "373", дающих напряжение в 9 В.

В техническом исполнении эманометр "Радон" смонтирован в виде двух блоков: измерительного пульта и блока пересчета. Последний при производстве работ крепится к пульту.

И з м е р и т е л ь н ы й п у л ь т состоит из измерительной панели, плата печатного монтажа, фотоэлектронного умножителя, кожуха и батарейного отсека. На измерительной панели вынесены узел фотоумножителя, измерительный прибор М-261 М, переключатель "Род работ", переключатель "имп/с", ручка потенциометра "Порог дискриминатора", кнопка "Сброс" и разъем для подключения блока пересчета.

Печатные платы усилительно-регистрирующей схемы крепятся к внутренней стороне измерительной панели.

Эманационная камера крепится накидной полумуфтой. Камера имеет три штуцера, каждый из которых запирается краном. Наличие третьего - свободного - штуцера позволяет осуществить продувку камеры без отсоединения камеры от пробы или образцового раствора.

На боковой стенке кожуха находятся два батарейных отсека, в которые вставляются элементы типа "373".

Б л о к п е р е с ч е т а представлен кожухом и панелью, на которой смонтированы секундомер и счетчик МЭС-54. Левее от них расположен переключатель ("стоп", "пуск"), микропереключатель " х I " и " х 2 ", кабель с разъмом для подключения к пульту.

В зависимости от скорости счета микропереключатель в положение " х I " или "2х 2".

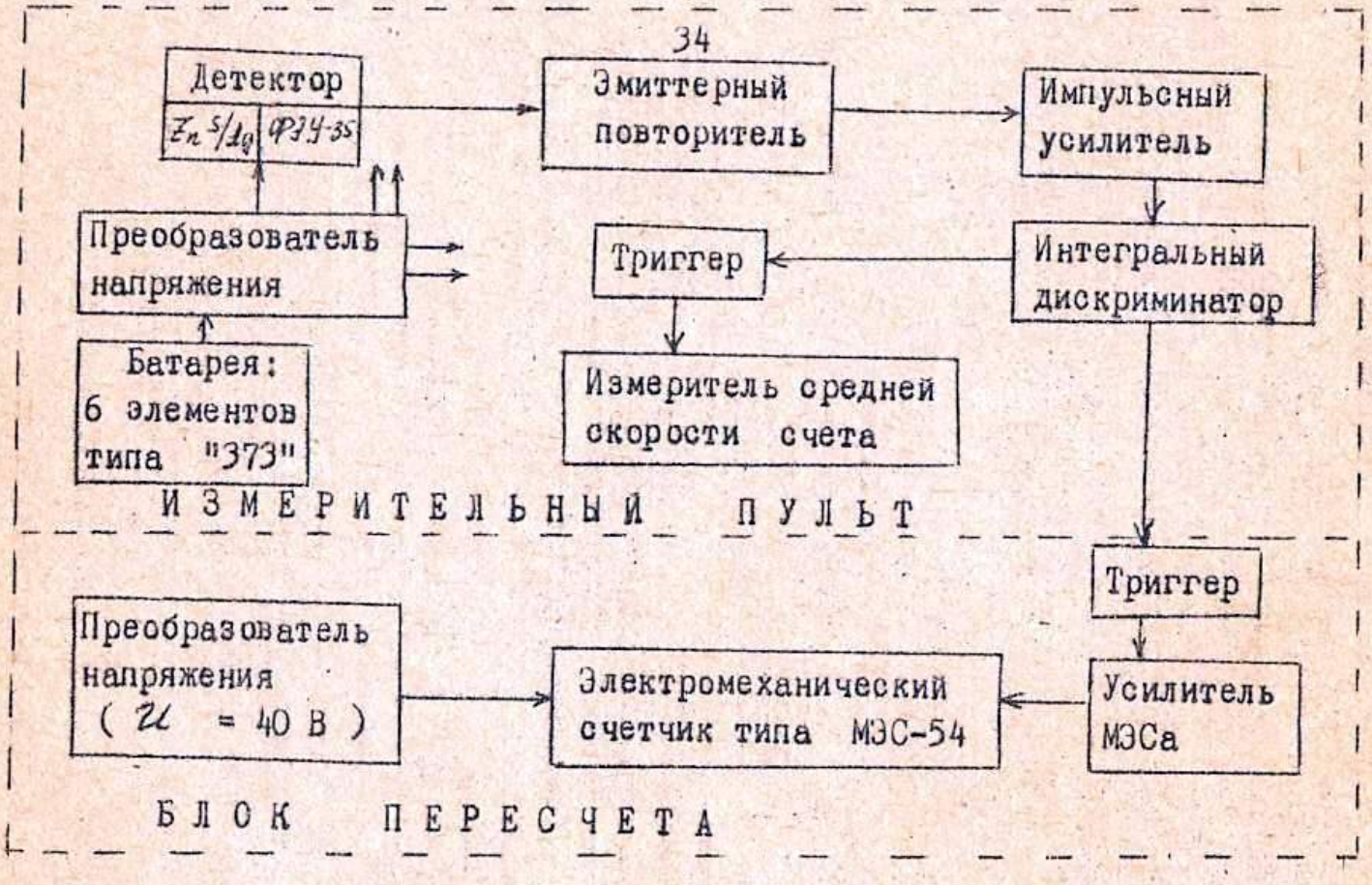


Рис. 2.3. Функциональная схема эманометра ЭМ-6М "Радон"

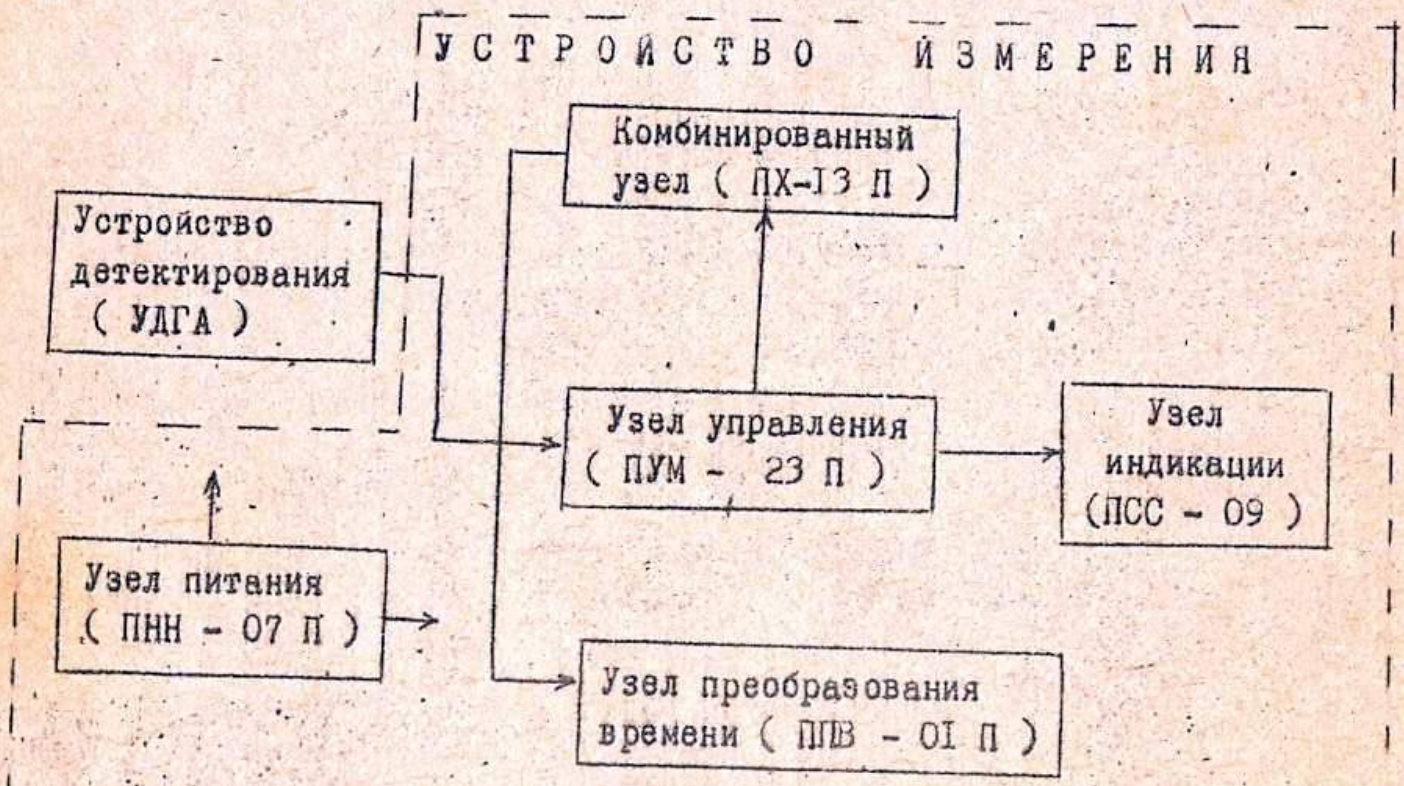


Рис. 2.4. Структурная схема прибора РГА - 01

Питание блока пересчет осуществляется только в положении "ЭМС" переключателем "Род работ", находящемся на пульте прибора.

Техника производства отсчета по МЭС-54 проста: кнопкой сброса сбрасываются показания ЭМС и секундомер устанавливается в исходное положение. Включение тумблера в положение "Пуск" и запуск секундомера производятся одновременно. Через выбранный интервал времени, обычно кратный целому числу минут, тумблер переводится в положение "Стоп" и берется отсчет по магнитоэлектрическому счетчику. При измерении по МЭС результат выражается в импульсах в минуту.

Печатные платы и электрические схемы смонтированы внутри кожуха на внутренней стороне панели. В рабочем положении блок пересчета крепится к измерительному пульту с помощью специальных ушек на кожухе.

ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

Подготовка эманометра к работе производится в следующей последовательности: извлекается пульт из укладочного ящика, затем переключатель "Род работ" устанавливается в положение "Выкл".

В каждый батарейный отсек укладывают по три элемента типа "373" с соблюдением полярности (отрицательный полюс последнего элемента соединяют с навертывающейся крышкой батарейного отсека), и проверяют точность установки стрелки микроамперметра на нуль. В случае отклонения стрелки от нуля шкалы возвращают её с помощью механического корректора в исходное (нулевое) положение. Проверка работоспособности прибора включает ряд операций:

1. для включения эманометра необходимо переключатель "Род работ" перевести в положение "Контроль НБ", в этом случае осуществляется контроль напряжения батарей - стрелка микроамперметра должна показывать не менее 30 делений ;

2. контроль тока в анодной цепи фотоэлектронного умножителя осуществляется переводом переключателя в положение "Контроль НВ" - показания стрелки должны быть не менее 10 делений шкалы ;

3. при переводе переключателя в положение "ЭМС" - электромеханический счетчик показывает уровень натурального тока камеры, натуральный фон не должен превышать 5 имп/мин - при отклонении значения фона в сторону завышения перевод его к нормальному показанию (5 имп / мин) достигается регулятором "Порог дискримина-

ции" ;

4. в положении ($с^{-1}$) производятся измерения скорости счета по шкале токоизмерительного прибора, в зависимости от положения диапазонного переключателя ;

5. заменить рабочую камеру контрольной (с препаратом плутония-239), для чего отвернуть накидную гайку (полумуфту), удерживающую рабочую камеру ;

6. завинтить накидную гайку контрольной камеры и проверить питание - путем переключения переключателя "Род работ" с положения "Контроль НБ" ;

7. переключатель (" $с^{-1}$ ") переключить в положение "50", "250", "1000", "5000" одновременно меняя диафрагму контрольной камеры. Показания микроамперметра, измеренные на каждом поддиапазоне записать в журнал ;

8. сопоставить показания микроамперметра, измеренные с контрольной камерой, с данными, приведенными в паспорте эманометра. Если погрешность этих измерений находится в пределах 30 %, то считается, что прибор работает нормально ;

9. после проведения контрольных измерений контрольная камера заменяется рабочей.

Настройка усиления (порога дискриминации) осуществляется регулятором "Порог дискриминатора", вынесенным за лицевую панель измерительного пульта и защищенным навинчивающей крышкой. Перед настройкой крышка снимается, включается прибор в положение "имп/с" - переключатель диапазонов устанавливается в положение "50". Установив ручку регулятора "Порог дискриминации" в крайнее левое положение, сделать ряд отсчетов при поворачивании ручки регулятора по часовой стрелке 1/12 - 1/8 части окружности.

Для установления порога дискриминации необходимо подать на камеру радиацию с таким расчетом, чтобы стрелка микроамперметра находилась в среднем положении шкалы. На практике график обычно не вычерчивают, а устанавливают крайнее левое и правое положения плата с помощью регулятора "Порог дискриминатора" и затем берется среднее его положение. Настройка порога дискриминации производится каждый раз перед градуированием прибора.

2.5 РАДИОМЕТР АЛЬФА-АКТИВНЫХ ГАЗОВ РГА-01 "ГЛИЦИНИЯ"

Радиометр предназначен для измерений объемной активности радиоактивных эманаций по их альфа-излучению в полевых и лабораторных условиях.

В приборе в качестве детектора используются сцинтилляционные камеры объемом 500 $см^3$ или 50 $см^3$ и сцинтилляционная пленка толщиной 10^{-4} м.

Объем отбираемой пробы воздуха - не менее 6×10^{-4} м (0,6л)

Скорость отбора пробы воздуха не менее 1.8 л/мин.

Время измерения обратно пропорционально величине объемной активности радона. Максимальное время для измерения объемной активности $3{,}15 \times 10^2$ Бк / $м^3$ не превышает 800 с.

Нестабильность показаний радиометра за 8 часов непрерывной работы не превышает ± 5 %.

Питание прибора осуществляется от 6 элементов типа "373". Напряжение питания от 6 до 9.5 В, потребляемая мощность не более 1.5 Вт в режиме измерения и не более 2.0 Вт в режиме индикации.

Нормальная работоспособность прибора в диапазоне температур от - 10 до + 50° С.

Общая масса укомплектованного питанием и подготовленного к работе прибора составляет около 9 кг.

В состав радиометра РГА-01 входят: устройство измерения (УИ), устройство детектирования (УД), пробоотборник (щуп), соединительные резиновые шланги.

Устройство измерения соединяется с устройством детектирования электрическим кабелем и укрепляется на последнем с помощью хомута и держателя. Предусмотрена возможность переноски пульта на груди оператора с помощью ремней.

Пробоотборник соединяется с УД резиновым шлангом около 3 м.

Устройство измерения (пульт) состоит из алюминевого корпуса, лицевой панели, днища и каркаса с электронными платами. В нижней части корпуса расположен отсек питания, в который устанавливаются 6 гальванических элементов типа "373".

На лицевой панели крепятся органы управления, входной разъем и каркас с электронными платами. Органы управления состоят из: а) переключателя "ИЗМЕРЕНИЕ", б) переключателя "РЕЖИМ -I", в) переключателя "РЕЖИМ-2", г) книпки "ПУСК", д) кнопки "ИНДИКАЦИЯ", е) потенциометра "КОРРЕКЦИЯ".

На лицевой панели имеются два окна для индикаторных ламп, закрытые стеклами.

УСТРОЙСТВО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ состоит из: основания, сцинтилляционной камеры с напыленным на внутреннюю поверхность сцинтиллятором ZnS (Ag), фотоэлектронного умножителя ФЭУ-82, торец которого покрыт сцинтиллирующей пластмассой толщиной 10^{-4} м, отсека с электронными узлами и ручного насоса. В нижней части основания расположена опорная скоба, а в верхней закреплен ручной насос, состоящий из: корпуса;,штока, совмещенного с выпускным клапаном ; впускного клапана.

В основании УД расположен входной штуцер, соединяющийся с помощью гибкого резинового шланга с пробоотборником. Входной штуцер через канал в основании корпуса блока детектирования связан с внутренним объемом сцинтилляционной камеры.

П р о б о о т б о р н и к состоит: из воздухозаборной трубки, герметизирующей пробки из пенопласта и ручки с устанавленными в ней предохранительным клапаном для предотвращения попадания воды в детектор и патроном, наполненным осушителем или ватой для очистки пробы воздуха от пыли и влаги. В верхней части прооки установлен цанговый зажим, фиксирующий пробку на необходимой высоте..

ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

Радиометр измеряет объемную активность радона путем регистрации альфа-излучения радиоактивных эманаций и продуктов их распада.

В результате распада радона, находящегося в сцинтилляционной камере, на её стенках накапливаются дочерные продукты (RaA, RaC RaC), которые приводят к повышению фона при последующих измерениях. С целью снижения остаточного фона в качестве детекторов используются два сцинтиллятора /ZnS (Ag), напыленный на боковые поверхности камеры, и тонкий пластмассовый сцинтиллятор, наклеенный на торце ФЭУ.

Поток альфа-частиц, регистрируемый сцинтиллятором $ZnS(Ag)$, пропорционален концентрации радона и продуктов его распада, а поток частиц, регистрируемый пластмассовым сцинтиллятором, обусловлен, главным образом, продуктами распада радона.

Разделение импульсов, вызванных вспышками сцинтиллятора $ZnS(Ag)$ и пластмассы, осуществляется дискриминатором формы импульсов. Это разделение основано на различии во временах высвечивания этих сцинтилляторов.

Основными узлами электрической схемы / Рис. 2.4 / прибора являются:

- комбинированный узел КУ (ПХ-13 П), в котором осуществляется преобразование входной частоты импульсов во временной интервал и вычитание потока импульсов фонового канала из основного в режиме $/ n_1 - n_2 /$;

- узел преобразования времени УПВ (ППВ-01П), в котором происходит преобразование длительности временного интервала в частоту, обратно пропорциональную длительности интервала;

- узел индикации УИн (ПСС-09), служащий для вывода информации о скорости счета импульсов и состоящий из трехдекадного счетчика, светодиодных семисегментных индикаторов и точечных светодиодов;

- узел питания УП (ПНН-07П), предназначенный для получения стабилизированных напряжений + 9 В - 9 В;

- узел управления УУ (ПУМ-23 П), предназначенный для управления работой прибора.

Выбор режимов работы прибора осуществляется переключателями "ИЗМЕРЕНИЕ", "РЕЖИМ-1" и "РЕЖИМ-2", а управление - кнопками "ПУСК" и "ИНДИКАЦИЯ".

Переключатель "ИЗМЕРЕНИЕ" определяет канал, по которому проводятся измерения:

- в положении "n_1" и "n_2" измеряется частота входных импульсов от покрытия $ZnS(Ag)$ и сцинтиллирующей пластмассы;
- в положении "$n_1 + n_2$" - сумма этих частот;
- в положении "$n_1 - n_2$" - разность этих частот

Переключателем "РЕЖИМ-I" производится включение прибора, контроль по частоте внутреннего генератора, включение режима измерения временного интервала и выбор емкости входного счетчика (положения "xI", "x IO", "x IOO" соответствуют накоплению 64, 640, 6 400 входных импульсов). Выбор положения переключателя "РЕЖИМ-I" осуществляется с учетом требуемой статистической погрешности, которая составляет I3%, 4% и I.3 % для положений " x I", "x IO", " x IOO".

Переключатель "РЕЖИМ-2" определяет временной режим работы прибора. В положении " N " проводятся измерения за фиксированное время IO, IOO и IOOO с (устанавливается переключателем "РЕЖИМ-I"), в положении I - однократные измерения, в положении 2 - два измерения с интервалом IOO с, в положении 3 - непрерывные измерения, при этом каждое последующее начинается по окончании предыдущего.

ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

Извлечь радиометр и его составные части из укладочных ящиков, убедиться в отсутствии механических повреждений.

Установить переключатели в положение:

- "ИЗМЕРЕНИЕ" - N ;
- "РЕЖИМ-I" - "ВЫКЛ" ;
- "РЕЖИМ-2" - I.

Установить в отсек батарейного питания радиометра 6 гальванических элементов типа "373", закрыть крышку отсека питания и завернуть винты.

Установить переключатель "РЕЖИМ-I" в положение "КОНТРОЛЬ". При этом должны засветиться точечные светодиоды "ВХОД" и один из поддиапазонов измерений (x I, x IO, x IO^2, x IO^3).

Соединить с помощью кабеля детектор с пультом измерения.

Вставить в устройство детектирования контрольную камеру.

Установить переключатели:

- "ИЗМЕРЕНИЕ" в положение N ,
- "РЕЖИМ-I" в положение x IO,
- "РЕЖИМ-2" в положение I.

При этом должен засветиться светодиод в одном из разрядов

цифрового индикатора. При снижении напряжения батарей питания ниже 6 В загорается индикатор "РАЗРЯД", сигнализирующий о необходимости замены элементов питания.

Нажать кнопку "ПУСК", при этом должен включиться индикатор "НАБОР".

После выключения индикатора "НАБОР", нажать кнопку "ИНДИКАЦИЯ". Зафиксировать показания радиометра и сравнить с величиной, указанной в паспорте. Показания радиометра при измерении с контрольной камерой должны отличаться от паспортного значения не более ± 10%. В случае, если различие в показаниях окажется более ± 10%, вращением потенциометра "КОРРЕКЦИЯ" и последующим нажатием кнопок "ПУСК" и "ИНДИКАЦИЯ", установить показания соответствующие паспортному значению.

Проверить наличие и состояние патрона с осушителем в пробоотборнике. При необходимости заменить осушитель на новый; установить патрон с осушителем на место, плотно завернуть запорную гайку.

Соединить с помощью резинового шланга пробоотборник с устройством детектирования.

Отвернуть накидную гайку и заменить контрольную камеру с препаратом плутоний-239 на рабочую камеру (во избежание "засвечивания" камеры через входной штуцер УД на него рекомендуется надеть резиновый шланг длиной 10-15 см).

При производстве полевых наблюдений ИЗМЕРЕНИЯ СУММАРНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭМАНАЦИИ производятся при следующих положениях переключателей:

" ИЗМЕРЕНИЕ " - " T_2 ",
" РЕЖИМ -2" - " I ",
" РЕЖИМ -I" - " x I" или " x 10 "

Порядок измерений следующий:

- после отбора пробы нажать кнопку "ПУСК" (при этом должен включиться индикатор " НАБОР" ;
- после включения индикатора "НАБОР", нажать кнопку " ИНДИКАЦИЯ" ;
- зафиксировать показания радиометра (П) и определить суммарную концентрации эманации (С) по формуле:

$$C_{\Sigma} = П \times 10^3 \quad (Бк / м^3)$$

При раздельных определениях концентрации радона (C_{Rn}) и торона (C_{Tn}) переключатели ставят с следующие положения:

- "ИЗМЕРЕНИЕ" - " R_1 ",
- "РЕЖИМ-2" - " 2 ",
- "РЕЖИМ-I" - " I " или " IO "

и измерения производятся в следующем порядке:

- после отбора пробы фиксируется "мгновенный " отчет (П),
- через IOO с автоматически включается индикатор "НАБОР", после его включения вновь нажать кнопку "ИНДИКАЦИЯ" и зафиксировать ($П_{100}$);
- определить концентрации радона и торона по формулам:

$$C_{Rn} = C_{\Sigma} - \frac{П - П_{100}}{0,75} \cdot 10^3 - C_{н.ф.},$$

$$C_{Tn} = C_{\Sigma} - C_{Rn}.$$

При измерении объемной активности эманации в жидких пробах необходимо выполнить следующие операции:

- соединить шлангом емкость с жидкой пробой (барбатер, сосуд Боброва и т.п.) и входной штуцер УД (длина шланга должна быть минимальной);
- пережать шланг зажимом из комплекта ЗИП ;
- откачать воздух из сцинтилляционной камеры, сделав IO-I2 качаний ручным насосом ;
- освободить зажим на входном патрубке сосуда Боброва ;
- плавно опустить зажим на соединительном шланге, пока не начнется пробулькивание воздуха в жидкой пробе ;
- перевести радон в сцинтилляционную камеру в течении 2 -3 минут ;
- произвести измерения (по приведенной выше методике) ;
- вычислить объемную активность радона в жидкой пробе ($C_{ж}$) по формуле:

$$C_{ж} = П \times \frac{V_к}{V_{ж}} \times 10^3 \ (Бк / м^3),$$

где П - показания радиометра альфа-газов;

$V_к$ - объем газового тракта радиометра до входного клапана насоса, включая объем сцинтилляционной камеры ($м^3$);

$V_{ж}$ - объем жидкости в барбатере ($м^3$).

ГРАДУИРОВКА ЭМАНОМЕТРОВ

Градуирование эманометров производится с целью определения цены деления прибора в $Бк/дм^3$ / дел./мин или $Бк/м^3$ / имп/с.

Эманометры градуируют с помощью стандартных жидких радиевых образцов, содержащих $n \cdot 10^{-8}$ - $n \cdot 10^{-9}$ г радия.

Растворы, налитые в барботер, герметично закрывают на определенное время для накопления в них радона. Накопившийся радон вакуумным или циркуляционным способом переводят в измерительную камеру и спустя 3 часа (в течении первых 10-15 минут берут несколько замеров, а затем измерения скорости счета ведут через каждые 30 минут в течении 3-х часов ; за это время устанавливается равновесие между радоном и продуктами его распада, при трехчасовом отсчете отмечается максимальное значение скорости счета) измеряют частоту импульсов сцинтилляционным прибором или подсчитывают количество делений шкалы ионизационного прибора.

При вакуумном способе переведения радона в измерительную камеру его массу в единицах равновесного с ним радия рассчитывают по формуле $Q_{Rn} = Q_{Ra}[1 - exp(-\lambda_{Rn} t)]$.

При циркуляционном способе переведения радона его массу в единицах равновесного радия рассчитывают по формуле

$$Q_{Rn} = \frac{Q_{Ra}[1 - exp(-\lambda_{Rn} t)] V_к}{V_{общ}},$$

где Q_{Ra} - масса радия в источнике, г ; λ - постоянная распада радона ; $V_к$ - объем измерительной камеры, л ; $V_{общ}$ - объем всей циркуляционной системы, л.

Цену деления шкалы прибора / Бк / (дел. л) или в Бк мин / (имп·л) / рассчитывают по формуле

$$K = 3.7 \cdot 10^{10} Q_{Rn} / N_\lambda V_к,$$

где N_λ - частота импульсов, имп /мин, или ионизационный ток, дел, от альфа-излучения радона без фонового излучения ;

$V_к$ - объем измерительной камеры, л.

3. МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ РАБОТ

Применение эманационного метода при поисках радиоактивных руд и решения других геологических и инженерно-геологических задач сводится к исследованиям распределения радиоактивных эманаций в рыхлых отложениях путем отбора и анализа проб почвенного воздуха.

В зависимости от природы измеряемой эманации различают радоновый, тороновый и радоно-тороновый методы.

В зависимости от глубины отбора проб выделяют два вида эманационных съемок:

а) обычная эманационная съемка, с отбором проб с глубины 0.8 ÷ I.2 м ;

б) глубинная эманационная съемка, с отбором проб с глубин I.5 - I0 м (и более).

Разновидность эманационного метода, сводящаяся к отбору проб воздуха из горных пород на различных глубинах в буровых скважинах называют э м а н а ц и о н н ы м к а р о т а ж е м .

В настоящее время разработаны основные вопросы методики и техники одной из разновидностей эманационного метода - ЭТМ (эманационного трекового метода), основанного на использовании механического воздействия альфа-частиц эманации на поверхность твердых тел.

3.1 ЭМАНАЦИОННАЯ СЪЕМКА

Исследования распределения концентрации эманации по площади осуществляется эманационной съемкой. На участках, где коренные породы перекрыты рыхлыми покровными отложениями мощностью I-5 м применяется приповерхностная эманационная съемка, при мощности более 5 м - глубинная эманационная съемка.

Неблагоприятными участками для проведения эманационной съемки являются заболоченные районы, площади с высоким уровнем грунтовых вод, участки с широко развитыми каменными осыпями, эоловыми и моренно-ледниковыми отложениями, вечной мерзлоты и перекрытые глинистыми проелонми.

При проведении эманационной съемки пробы почвенного воздуха отбираются из рыхлых отложений путем проходки ручного шурфа

диаметром 30 - 40 мм на глубину 0.8 - 1.2 м и последующего откачивания из пробоотборника, вставленного в шпур, почвенного воздуха в эманационную камеру. Измерения концентрации эманации пробы производят сразу же после измерения натурального фона и введения пробы в камеру. Затем камера и соединительная система проветриваются атмосферным воздухом и вновь измеряется натуральный фон. При высоком фоне камеры её заменяют запасной. Подобным образом поступают при отборе и измерении пробы на следующей точке профиля. При работе в течении дня 2 - 3 раза проверяют герметичность камеры и соединительной системы.

В журнале наблюдений (Табл. 3.I, 3.2, 3.3) отмечаются: дата, название участка, привязка точек измерения (номера профилей и пикетов), глубина шпура, положение переключателей, результаты измерений и, если необходимо, в графе "Примечания" указываются особенности методики измерений и характер поверхности в точке измерения (элювио-делювий, глина, болото и т.д.).

На отдельных листах полевого журнала выносятся схемы детализации аномалий.

Таблица 3.I.

Форма записи в полевом журнале для ионизационных типов приборов (СГ-II, ЭМ-2)

Участок работ " Пальтау "

Дата 7 июля 1988 г. Масштаб работ I : 2000

Профиль I - I

Оператор Д. А.Сурмило Прибор ЭМ-2 № I48307

$\mathcal{S}$ = 5,3 Бк / дм^3

№ № п.п.	Номера пикетов	Расстояние между точками в м	Число делений шкалы	Время наблюдений, в с	Ионизац. ток, в дел/мин	Концентрация эманаций, в Бк / дм^3	Примечание
I.			0.3	I20	0.15		
2.	0	-	2,4	60	2.4	II.9	H = 0.9 м
. . .							
. . .							
65.		I.7	30				

Таблица 3.2.

Форма записи в полевом журнале для сцинтилляционных типов приборов (ЭМ-6, ЭМ-6П, ЭМ-6 М "Радон")

Участок работ "_Бричмуллинский_"

Дата _ I8 июля I989 г. Масштаб работ _I:I000_

Профиль _ХХУ_ _ _ Прибор ЭМ-6М № 249 _

Оператор _А.Г.Нестеров_

№ № п.п.	Номера пикетов	Расстояние между точками, в м	Отсчеты в дел. шк.	Поправочный коэффициент, диапазон измерений	Концентрация эманаций, Бк/дм^3	Примечание
I			0.4	I		
2	I02	5	I8.3	I	I7.9	
. . .						
I09			0.6	I		
II0	I.5+3	3	9.6	2.2	20.5	

Оператор : / подпись /

Таблица 3.3.

Форма записи в полевом журнале для прибора типа РГА-01

Участок работ " Садовый "

Дата _ 7 июля _ I990 г. Масштаб I: 500

Профиль _ Х УII _ _ _ Прибор РГА-01 № 23

Оператор _А.Островская_

№№ пп	Привязка	Глубина шпура	Положение переключателя: ИЗМЕРЕН	РЕЖИМ1	РЕЖИМ-2	Отсчет	Н.Ф. 10^3 Бк/м^3	$C_{\leq}$ 10^3	C_{R_n} Бк/м^3	Примечание
	КП		n_1	x I0	I	2.4 10^3		2440		КК
1. I		0.8	n_1	x I0	I	0.5 10^3	5	50		
2. 2		0.7	n_1	x I	2	0.3 10^3		320		Шурф
					I00 с	2.9 10^{-2}	7		273	
3. 3		0.8	n_1	x I	I	4.I I0	I0	3I		Осыпь

Все записи в журнале производятся простым карандашом или шариковой ручкой. Ошибочные записи перечеркиваются одной наклонной чертой. Пользоваться стирательной резинкой при ведении журналов з а п р е щ а е т с я .

По окончании рабочего дня оператор должен передавать журнал руководителю практики (в полевых условиях - начальнику отряда) для проверки правильности произведенных записей.

При выполнении полевых работ необходимо придерживаться следующих о с н о в н ы х п р а в и л :

- пробы воздуха в измерительный прибор отбирают с помощью специального зонда (пробоотборника), который задавливается в рыхлые отложения или помещается в специально пробуренный шпур;

- шпуры (бурки) проходят вручную или механическим способом, для приповерхностной съемки на глубину (0.8 - I,2 м) ;

- почву вокруг устья зонда уплотняют, чтобы при откачке пробы воздуха не было бы подсоса газов атмосферы, могущих исказить результаты измерений ;

- перед отбором исследуемой пробы измеряют величину фона $N_ф$ ($У_{и.р}$), т.е. показания прибора, когда эманационная камера заполнена атмосферным воздухом ;

- подпочвенный воздух откачивают в камеру при помощи поршневого насоса, входящего в комплект прибора. Для этого оба крана открывают и прокачивают через камеру около 4 л подпочвенного воздуха (5-6 плавных качаний насоса), чтобы заменить им атмосферный воздух в самой камере и соединительной системе. Оптимальное количество качков, обычно, определяют путем опытных наблюдений: для этого строят график зависимости (в дел./мин или дел.шк.) показаний эманометра от числа качков насоса, сделанных на определенном пункте, там, где кривая зависимости выходит на асимптоту, берется оптимальное число качков (минимальное количество) ;

- по окончании основных измерений быстро отсоединяют камеру от зонда, открывают оба ее крана и прокачивают атмосферным воздухом (I0-I5 "качков"). Чем меньше времени понадобится на отсчет показаний прибора, тем меньше будет заражена камера продуктами распада эманаций ;

- фоновые значения камеры необходимо фиксировать и записывать, чтобы затем вычесть их значение из показаний прибора,

соответствующих новой пробе воздуха ;

- при сильных заражениях камеры её необходимо заменить новой (запасной), дезактивацию зараженных продуктами распада эманаций камер можно проводить путем протирания внутренних стенок сухой тряпкой, либо смоченной материей в теплой воде или в техническом спирте ;

При проведении эманационной съемки ежедневно (утром и вечером) производят контроль работы прибора. Для этого наблюдают показания прибора с контрольной камерой и в шпуре на контрольном пункте (точке) - КП (КТ). Измерения с контрольной камерой позволяют судить о степени постоянства чувствительности эманометра, а на КП - об изменении концентрации эманации за счет метеорологических условий.

Эманационная съемка производится по профилям, заданным обычно вкрест простирания изучаемых структур, при специальных наблюдениях профили задаются вдоль направлений, позволяющим получить максимум полезной информации.

Расстояния между точками отбора проб по профилю составляют от 1 до 5-10 м (реже 25 м), а между профилями определяются масштабом съемки, который в свою очередь зависит от поставленных задач, геологического строения и перспектив района, размеров ожидаемых рудных тел и их ореолов рассеяния, а также размеров других, интересующих практику, исследуемых объектов.

В полевой практике выделяют: р е к о г н о с ц и р о в о ч н у ю (маршрутную) эманационную съемку - применяется для выяснения (в комплексе с другими геофизическими методами) общих перспектив (в т.ч. и на уран) площадей, закрытых рыхлыми отложениями, и выделения благоприятных рудоконтролирующих структур и пород района ; э м а н а ц и о н н у ю с ъ е м к у в масштабах 1: 25 000 (сеть наблюдений 250-200 х 5-10 м) и в 1: 10 000 (сеть наблюдений 100 х 5-10 м) - применяется для непосредственных поисков новых рудных полей и отдельных месторождений радиоактивных руд; д е т а л ь н у ю эманационную съемку масштабов 1:5 000 (сеть 50 х 5 м) и 1: 2 000 (сеть 20 х 5-2 м) - проводится для исследования выявленных радиометрических аномалий, оконтуривания известных и выявления новых рудных тел в пределах месторождений и рудных полей.

С целью детальной разведки рудных тел, закрытых наносами,

применяется специальная эманационная съемка, которая выполняется на ограниченных площадях (до I км^2) по сети от 5 х 5 и до I х I м, что позволяет дать оценку радиоактивности эманационным аномалиям и правильно наметить места заложения проверочных горных выработок (расчисток, канав, шурфов и т.п.).

С п е ц и а л ь н ы е крупномасштабные съемки применяются также при решении инженерно-геологических задач (зон тектонических нарушений, систем трещин в породах, исследования участков проявления карстово-суффозионных процессов, обнаружения подземных пустот и камер, изучения оползней и т.д.).

Э м а н а ц и о н н а я с ъ е м к а выполняется бригадой, состоящей из 3 - 4 человек - оператора, его помощника и двух рабочих (для приготовления шпуров и переноски приборов и вспомогательного оборудования).

Перед началом работ н а с т р а и в а ю т и г р а д у и р у ю т эманометры, п о д г о т а в л и в а ю т вспомогательное оборудование (пылеуловители, резиновые шланги, пробоотборники, буры, воротки для буров (или ломы) и кувалды).

П р о ц е с с и з м е р е н и я концентрации эманации на точке наблюдения состоит из следующих последовательно проводимых о п е р а ц и й :

I) Включение и проверка работоспособности эманометра.
2) Приготовление шпура (бурки) глубиной 0.8 -I.2 м для отбора газовых проб.
3) Установка в шпур пробоотборника, соединенного шлангом с пылеуловителем и камерой эманометра.
4) Измерение и компенсация натурального фона прибора.
5) Отбор пробы подпочвенного воздуха.
6) Измерение концентрации эманации в пробе.
7) Определение природы эманации.
8) Удаление пробы из камеры.
9) Запись величины концентрации эманации в полевой журнал.
I0) Переход на следующую точку наблюдений.

Для выяснения п р и р о д ы э м а н а ц и й производят раздельные определения радона и торона. Для этого производят два последовательных измерения: I. сразу же после отбора пробы (мгновенный отсчет) и 2. через I мин после введения пробы (одноминутный отсчет).

3.2. ГЛУБИННАЯ ЭМАНАЦИОННАЯ СЪЕМКА

Глубинная эманационная съемка проводится на площади, где мощность рыхлых покровных отложений превышает 5 метров.

Отбор проб почвенного воздуха производится из шпуров и скважин с различных глубин (от 2-3 м до 10 м и более) способами:

а) без перекрытия шпура, с использованием пробоотборников в виде перфорированных в нижней части металлических трубок длиной I.0 - 1.5 м, диаметром 10-12 мм, опускаемых на резиновом шланге до забоя шпура ;

б) с перекрытием шпура на любой глубине скважины и на её забое, с использованием пакерзондов. С помощью пакерзондов с двумя манжетами проводят эманационный каротаж по оси шпура для оценки выявленных аномалий и необходимостью изучить распределение эманации по вертикали. Расстояние между точками отбора проб по оси шпура изменяется от I до 2-3 м;

в) с применением пробоотборника, находящегося в призабойной части буровой установки (например, СУГП - 10).

Для получения достоверных результатов глубинной эманационной съемки необходимо правильно выбрать о п т и м а л ь н о е количество качаний насоса, т.к. в ряде случаев наблюдается зависимость измеряемых концентраций радона от объема прокаченного воздуха вследствие разбавления почвенного воздуха в шпуре атмосферным.

Определение оптимального числа качаний для шпуров различной глубины производится путем измерения концентрации эманации в отбираемых пробах при последовательном увеличении числа качаний насоса.

При отборе газовых проб пробоотборник, соединенный шлангом с эманационной камерой прибора, опускается в шпур до забоя и по меткам на шланге определяется глубина шпура с точностью до десятых долей метра.

Выявленные при глубинных эманационных поисках аномалии подвергаются предварительной оценке, которая заключается в площадном и объемном изучении радиоактивного ореола с прослеживанием его на глубину до коренных пород.

Эмационный метод является более эффективным по сравнению с γ - методом при выявлении и прослеживании тектонических зон, представляющих поисковый интерес.

3.3 ЭМАНАЦИОННЫЙ ТРЕКОВЫЙ МЕТОД

Эманационный трековый метод (ЭТМ) является одной из модификаций эманационного метода. Сущность его сводится к подсчету альфа-частиц по трекам, создаваемым в чувствительных материалах (минералы горных пород, стекла различного состава, органические полимеры, пластмассовые детекторы и др.).

Принципиальное отличие между ЭТМ и традиционным эманационным методом в использовании способа накопления информации во времени (до 3-4 недель) и другом способе газоотбора (непринудительном заполнении камеры анализируемым воздухом), что позволяет расширить область применения метода и получить большую глубинность исследований.

По условиям применения выделяются следующие варианты эманационного трекового метода:

1. Измерения в закопушках глубиной 0.6 - 1.0 м.
2. Измерения в сухих скважинах.
3. Измерения в болотных почвах.
4. Измерения в поверхностных водах и водах скважин.

Варианты применения ЭТМ в закопушках и скважинах эквивалентны обыкновенной и глубинной эманационной съемкам. Вариант измерения радона в увлажненных породах и болотистых почвах может быть использован для исследования площадей, недоступных для проведения обычной эманационной съемки. Вариант изучения вод трековым методом эквивалентен радиогидрогеологическому методу. Для ЭТМ справедливы все методические приемы проведения работ, разработанные для традиционного (обычного) эманационного метода.

При трековом методе камера с детектором-пленкой помещается в шпуре (глубиной 0.6-0.9 м) или скважине (Рис. 3,I) на 25-30 дней.

В качестве детектора альфа-излучения используются: негативная фотопленка ("Свема" или "Тасма") с предварительно удаленной фотоэмульсией и более совершенные детекторы на основе нитратцеллюлозы (двухслойные: верхний, окрашенный в красный цвет, слой из нитрацеллюлозы толщиной от 4 до 14 мкм, являющийся детектором альфа-частиц; нижний - бесцветная прозрачная основа из полиэстера), в качестве измерительных камер - пластмассовые стаканчики, объемом не менее 250 $см^3$.

Эманационная трековая съемка выполняется в следующей после-

довательности:

- начинают с подготовки к работе детекторов и измерительных камер, пленочные детекторы нарезают на кусочки стандартного размера (20 х 36 мм) и маркируют (порядковый номер выцарапывают на основе детектора) ;

- детекторы закрепляют к дну измерительной камеры с помощью оправки так, чтобы чувствительная поверхность детектора была бы обращена в сторону воздушного объема камеры (при использовании двухслойных детекторов такой поверхностью является та сторона, на которой нанесен окрашенный слой из нитратцеллюлозы) ;

- на каждой измерительной камере записывается её порядковый номер, соответствующий маркировке пленочных детекторов. Запись производится специальной несмываемой пастой или чернилами (в т.ч. шариковыми ручками и несмываемыми фломастерами) ;

- к измерительной камере прикрепляют достаточно прочный провод длиной около 1 м, с помощью которого камера может быть извлечена из почвы после завершения экспонирования ;

- копуши и шпуры соответствующего диаметра делают вручную или с помощью механических средств глубиной 70-80см (установка камер на глубину менее 0.6 м недопустимо !) ;

- измерительная камера устанавливается в выработку донышком (с закрепленным на нем пленке-детекторе) кверху и герметизируется ;

- герметизация может быть осуществлена с помощью пробки из полиэтилена, руберойда и т.п. ;

- на поверхность выводится свободный конец привода, привязанного к измерительной камере, место установки отмечается на местности колышком, после окончания экспонирования (до 30 суток) измерительные устройства извлекаются, время их извлечения фиксируется в журнале (там же записывают номера профилей, пикетов, кассет, глубины шпура, дату и время начала экспонирования и т.п.).

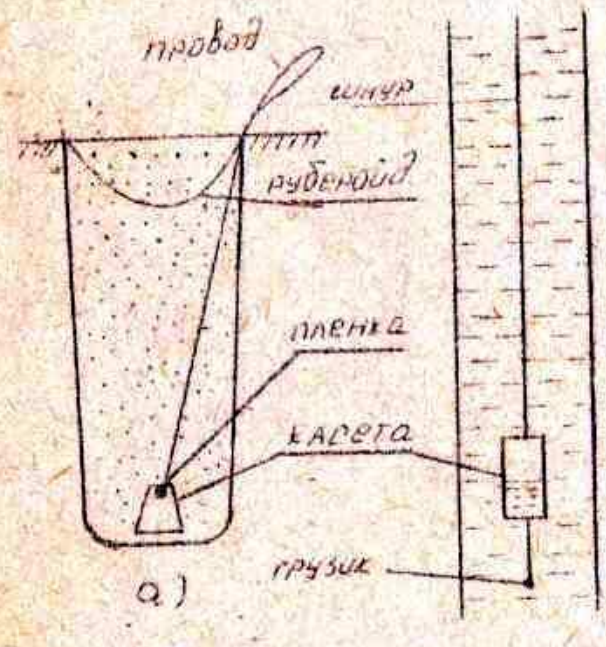


Рис. 3.1 Схемы установки кассет с пленкой а) в сухих наносах, б) в скважине

Вынутую из камеры пленку промывают в проточной воде и протравливают в растворе состава 40 г КОН (NaOH) и 100 см^3

дистиллированной воды. Травление пленки производят при температуре $68^{0} \pm 1^{0}$ С в течении 55-60 мин. Протравленную пленку промывают холодной водой и выдерживают 10-15 мин. в 3-5 % растворе уксусной эссенции, а затем вновь промывают водой и просушивают.

Счет треков альфа-частиц ведут с помощью микроскопов МИН-8 или МИН-6 в проходящем свете.

Подсчитанное число треков в поле микроскопа приводят к одной экспозиции (30 суток) и определяют число треков на 1 $мм^2$ поля.

По данным подсчета нормированных треков строят графики, на вертикальной оси которых откладывают число нормированных треков, а на горизонтальной - точки профиля в масштабе съемки.

3.4 СПОСОБ АКТИВНОГО НАЛЕТА

Метод САН основан на использовании накопительного устройства (пластина или диск), хорошо адсорбирующего дочерние продукты Rn и регистрации их величины переносным α -радиометром.

Достоинством метода САН является его геологическая эффективность, простота, экономичность, связанные с тем, что все измерения на точках наблюдения выполняются одним переносным регистрирующим устройством.

Для определения содержания эманаций в грунте цилиндрическая измерительная камера (объемом в 1 $дм^3$) с закрытым у её дна диском-адсорбентом площадью 60-80 $см^2$ устанавливается в копушу или бурку и герметизируется.

Съемка САН выполняется в следующей последовательности:

- подготовка аппаратуры к работе (установка режима работы -радиометра и пересчетного устройства, контроля и настройки чувствительности с помощью -источника, определяется фон прибора;
- маркируют диски-адсорбенты(приписывают порядковый номер);
- диски устанавливают в измерительной камере с помощью оправ;
- постановка измерительного устройства в грунт осуществляется сразу же после изготовления копуши или шпура ;
- время экспонирования в грунте около 24 час;
- по окончании экспонирования проводятся измерения α-активности дочерних продуктов радона, для этого вынимают из камеры диск-адсорбент и измеряют активность той поверхности, которая обращена в сторону камеры, время измерений 50-200 с (чтобы получить статистически достоверную информацию). Результаты наблюдений записываются в полевой журнал.

4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

4.1. Определение концентрации эманации

Главная задача обработки данных эманационных наблюдений - выделение эманационных аномалий.

Концентрацию эманации в исследуемых пробах воздуха рассчитывают по формулам:

$$C_{Rn} = j P_1 (N_{пр.+ф} - N_{ф})$$ для сцинтилляционного прибора . (4.1)

$$C_{Rn} = j P_2 \mathcal{J}$$ для ионизационного прибора , (4.2)

где N_{Rn} - концентрация радона в пробе, $N_{пр.+ф}$ - показания прибора от α-излучения пробы и фонового излучения в (имп/мин) ; $N_{ф}$ - показания прибора от фонового излучения (имп/мин) ; $\mathcal{J}$ - ионизационный ток при измерении пробы (дел.шк. /мин); j - константа (цена деления) прибора ;

P_1 и P_2 - коэффициенты приведения приборов к 3-часовому накоплению продуктов распада радона.

$P = \frac{a_{t=180}}{a_{t'}}$ коэффициент приведения цены деления прибора к моменту измерения ; $a_t = 180$, $a_{t'}$ - определяют по графику рис. 4.1.

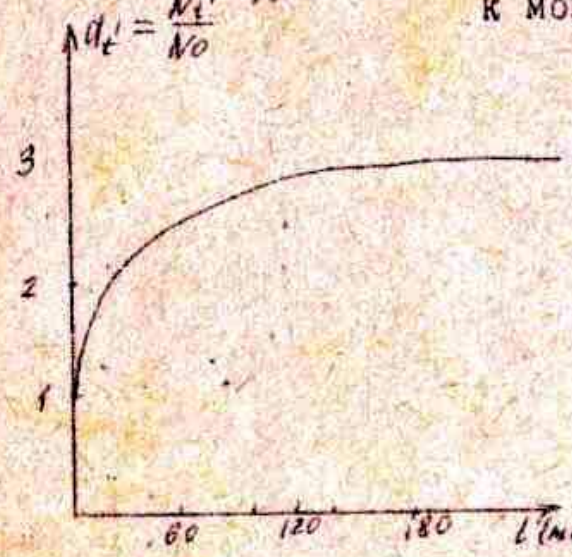


Рис. 4.1 График нарастания показаний прибора во времени вследствие накопления продуктов распада радона

Например, при измерении через 3 минуты после отбора пробы

$$P = \frac{2.96}{1.49} = 1.99 .$$

Если пробы измеряют через одинаковые промежутки времени после отбора, то значение P вводят в значение j ,т.е. принимают $j\ P = j'$ и формула для расчета содержания радона имеет вид:

$$C_{Rn} = j' (N_{Rn+ф} - N_{ф})$$

Для раздельного определения концентрации радона и торона производятся два измерения активности пробы в моменты времни t'_1 и t'_2 . По результатам этих измерений составляется система двух уравнений:

$$C_1 = jN_1 = a_{t_1} C_{Rn} + S_1 C_{Tn},$$

$$C_2 = jN_2 = a_{t_2} C_{Rn} + S_2 C_{Tn}, \qquad (4.3)$$

где N_1, N_2 – показания прибора в имп/с в моменты времени t_1' и t_2', за вычетом фона;

$j_0 = j$ 2.96 – цена деления прибора в момент времени $t = 0$;

C_{Rn} – неизвестная концентрация радона в Бк/л;

C_{Tn} – неизвестная концентрация торона в эквивалентных Бк/л;

$S_1 = e^{-\lambda_{Tn} t_1'}$, $S_2 = e^{-\lambda_{Tn} t_2'}$ – поправки на распад торона при измерениях в моменты времени t_1' и t_2'. Решая систему уравнений (4.3) получим расчетные коэффициенты для определенных интервалов времени, зная которые можно вычислить концентрации радона и торона.

В практике вычисление концентрации радона и торона при радоново-тороновой съемке производится по измерениям мгновенного, одноминутного, двухминутного и трехминутного отсчетов, полученным на каждой точке профиля.

Величины концентраций радона и торона в подпочвенном воздухе в этом случае рассчитываются по формулам:

$$C_{Rn} = 1.5 (N_1 - 0.5 N_0) j, \qquad (4.4)$$

$$C_{Rn} = (N_2 - 0.2 N_0 (j, \qquad (4.5)$$

$$C_{Rn} = 0.83 (N_3 - 0.11 N_0) j, \qquad (4.6)$$

$$C_{Tn} = N_0 j - C_{Rn}, \qquad (4.7)$$

где C_{Rn} и C_{Tn} – концентрация радона и торона в пробе;

N_0, N_1, N_3 – отсчеты, взятые соответственно через время 0, 1, 2, 3 минуты после введения пробы почвенного воздуха в эманационную камеру; j – градуировочный коэффициент.

По результатам вычислений находят среднее значение концентрации радона и торона в подпочвенном воздухе на исследуемом участке и нижний аномальный уровень активности ($C_\varphi + 3\delta$ и $C_\varphi \cdot \varepsilon^3$ соответственно при нормальном и логнормальном распределении аномальных концентраций эманаций). Для этого используются данные контрольных наблюдений, которые составляют не менее 5-10 % от общего объема выполненных измерений.

4.2 Графическое представление результатов

Результаты измерений представляют в виде графиков, планор

графиков и карт изолиний концентраций радона в масштабе съемки (горизонтальный масштаб графиков целесообразно выбирать на одну-две ступени крупнее масштаба съемки).

Графики вычерчивают на миллиметровой бумаге. На оси абсцисс откладывают расстояния по профилю, на оси ординат - концентрацию эманаций в принятых единицах.

Горизонтальные масштабы принимают равными 1:100, 1:200, 1:500, 1:1000. Вертикальный масштаб зависит от точности измерений, значения нормального поля и величины аномалий (обычно вертикальный масштаб принимается равным 50×10^3 Бк / $м^3$ в 1 см). Под графиком вычерчивается геологический разрез в том же масштабе.

Планы графиков эманационных профилей строят в масштабе отчетной карты и по ним для вытянутых аномалий проводятся аномальные оси и контуры аномалий, т.е. прослеживаются их корреляционные особенности, но не величина самой аномалии.

При детальных съемках, когда расстояния между профилями и точками отбора проб соизмеримы, результаты эманационной съемки выражают в виде карт изолиний концентраций радона на топографической основе с выделением основных геологических структур. При построении карт изолиний концентраций радона интервал между линиями одинаковых значений радона принимается равным четырехкратному среднему значению концентрации.

При построении планов графиков вертикальный масштаб выбирается таким образом, чтобы максимальные значения концентрации не пересекали соседние профили.

Результаты глубинной эманационной съемки выражают в виде карт графиков концентрации эманации по вертикали (глубине) или диаграмм концентрации по разрезу шпуров и скважин. При достаточной густоте сети скважин (шпуров) результаты эманационных наблюдений в них представляют в виде карт изолиний концентрации в вертикальной плоскости.

Методические приемы построений для данных наблюдений эманационного трекового метода такие же, как и для обычной эманационной съемки.

Один из вопросов совершенствования эманационной съемки - представление результатов её в общепринятых единицах концентрации эманаций (эман, Бк/ л). Одним из простейших способов перехода от плотности треков в (трек/ ($мм^2 \cdot 30$ сут) к поровой концент-

рации в (эман или Бк/л) – корреляционное составление результатов трековой и традиционной эманационной съемок по одним и тем же профилям и точкам, при одной и той же глубине исследования.

Сравнивая в к пунктах значения треков (n_i) для стандартной кассеты при τ = 30 сут и концентрацию N в Бк/л для эманометра, проградуированного с помощью жидкого радиевого стандартного образца, можно получить переходной множитель:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i}{\sum_{i=1}^{k} N_i} \quad \frac{\text{трек/ (мм}^2\text{ х 30 сут)}}{\text{Бк /л}} . \qquad (4.8)$$

5. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИСТОЛКОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭМАНАЦИОННОГО МЕТОДА

Основной задачей геологического истолкования результатов эманационного метода является выяснение природы эманационных аномалий и оценка их перспективности.

Сложность решения этой задачи обусловлена тем, что содержание эманации в почвенном воздухе зависит не только от концентрации радиоактивных элементов и эманирования пород, но и от других многочисленных факторов, которые создают ряд трудностей при интерпретации результатов.

Успешное решение этой задачи может быть достигнуто в результате комплексного использования данных радиометрических, гидрогеологических и геофизических исследований.

В ряде случаев решение её достигается проведением дополнительных радиометрических работ.

Важным является установление связи между выявленными аномалиями концентрации радона в покровных отложениях и урановым оруденением, размещенным в коренных породах, т.е. выяснения условий образования аномалий.

За аномальную концентрацию принимается концентрация эманации, превышающая среднюю фоновую концентрацию на удвоенное среднеквадратичное отклонение. При коррелируемости повышенных значений концентрации эманации на нескольких профилях за аномалию принимается и меньшее значение превышения концентраций над нормальным фоном. Нормальный фон устанавливается на основании вариационных кривых, составленных по отдельным разностям рыхлых отложений. Фоновые концентрации эманаций обычно составляют от 4 до 30 Бк/л.

5.1 Классификация эманационных аномалий

Группирование эманационных аномалий производится по основным характерным факторам, полученным в результате детализации аномалий. Среди таких факторов учитываются:

I. П р и р о д а а н о м а л и и . Природа радиоактивного начала устанавливается на основе измерений (отсчетов), взятых в разное время, после введения пробы подпочвенного воздуха в эманационную камеру и расчета концентрации радона и торона по формулам 4.4 и 4.6. По значениям концентрации радона C_{Rn} и концентрации торона C_{Tn} находится отношение $C_{Rn} / C_{Tn} = \mathcal{E}$.

Величина этого отношения определяет природу аномалии: при $\mathcal{E} \gg 1$ - радоновые ; $\mathcal{E} \ll 1$ - тороновые и $\mathcal{E} \approx 1$ - смешанные (радон-тороновые).

При одинаковых коэффициентах эманирования пород по радону и торону определяют отношение урана к торию по формуле :

$$C_U / C_{Th} = 0.8\,\mathcal{E}, \qquad (5.1)$$

2. П л о щ а д н о е р а с п р о с т р а н е н и е . По площадному распространению выделяются аномалии с локальным (точечным) и с широким площадным распространением.

3. Ф о р м а а н о м а л и й .

По форме наблюдаются аномалии изометрические и вытянутые.

4. М а к с и м а л ь н а я в е л и ч и н а концентрации радона. По значениям концентрации радона в почвенном воздухе аномалии разделяются на:

а) слабоактивные - первые десятки эман (Бк/л) ;
б) среднеактивные - сотни эман (Бк / л) ;
в) высокоактивные - тысячи эман (Бк/л).

5. Х а р а к т е р г р а ф и к а э м а н а ц и о н н о г о з о н д и р о в а н и я .

Вид графиков концентрации эманации с глубиной отбора проб зависит от характера распределения радиоактивных веществ в наносах. Выделяется четыре вида графиков (рис. 5.1) :

а) график зондирования (I) - рудное тело залегает неглубоко, поэтому отмечается резкое возрастание концентрации радона с глубиной ;

б) график зондирования (II) - глубоко залегающее рудное

тело создает плавное повышение концентрации радона с глубиной;

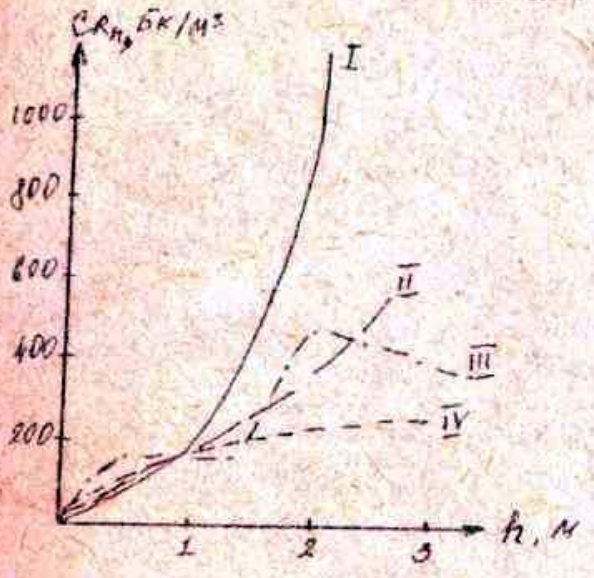


Рис. 5.1 Графики эманационного зондирования шпуров

I - рудное тело на малой глубине; II - рудное тело на большой глубине; III - неравномерно эманирующий слой у поверхности ; IУ - равномерно эманирующий слой у поверхности.

в) график зондирования III - неравномерное распределение радиоактивных веществ в наносах. Ломаная линия, в которой максимумы концентрации отвечают максимумам радиоактивности рыхлых отложений ;

г) график зондирования IУ - равномерное распределение радиоактивных веществ в наносах. Плавная кривая повышения концентрации эманации с максимумом на глубинах I - 3 метра.

6. Изменение концентрации эманации в зависимости от объема выкачиваемого из шпуров.

Оценку ведут по числу прокачиваний насоса (5, I0, 20, 30 и т.д. прокачиваний). Аномалии, в которых концентрация эманации уменьшается при большом объеме выкачанного воздуха относят к деэманирующим, а те у которых концентрация не снижается - к группе не деэманирующих аномалий.

7. Гамма-активность по площади и по глубине.

По гамма-активности аномалии разделяются на две группы: аномалии с установленной и аномалии с неустановленной гамма- активностью. По условиям образования аномалии разделяются на следующие группы: а) рудные, б) ореольные (аномалии, вызванные механическими, солевыми и газовыми ореолами рассеяния) ; в) аномалии эманирования ; г) аномалии экранирования.

Отнесение аномалий к одной из выделенных групп производится по совокупности основных характерных факторов, рассмотренных выше.

5.2 Признаки эманационных аномалий и оценка аномалий

Оценка аномалий производится на основании данных, полученных при проведении детализационно-оценочных работ.

Выделяются следующие характерные признаки, позволяющие отнести эманационные аномалии к тому или иному геологическому типу.

Признаками **рудных аномалий** являются радоновая ($\mathcal{E} > 1$) или преимущественно радоновая природа, площадное распространение, форма аномалий часто определяет форму рудного тела. Аномальная площадь характеризуется высокоактивной и среднеактивной концентрацией радона. График эманационного зондирования (I) - неглубокое залегание рудного тела. Аномалия не деэманирует. Гамма-активность устанавливается с глубиной и имеет высокую интенсивность.

Аномалии механических ореолов имеют преимущественно радоновую природу, площадное распространение, изометрическую форму, среднюю и реже высокую концентрацию радона, неравномерно распределенную по площади. Характер графика эманационного зондирования (III) - для изменяющейся концентрации радона с глубиной. Аномалия деэманируется по шпурам с высокой концентрацией радона. Гамма-активность устанавливается по площади и на глубину и изменяется в отдельных точках.

Аномалии газовых ореолов характеризуются радоновой природой, широким площадным распространением, изометрической формой при средней или низкой концентрации радона, равномерно распределенной по площади. График глубинного эманационного зондирования (II). Аномалия слабо деэманируется. Гамма-активность в пределах аномалии не устанавливается.

Аномалии солевых ореолов характеризуются радоновой природой, широким площадным распространением, изометрической формой. В пределах аномалии наблюдается средняя концентрация радона, равномерно распределенная по площади. График глубинного эманационного зондирования - (IУ), характерный для случая равномерного распределения радиоактивных веществ в наносах. Аномалии слабо деэманируются и с глубиной отмечаются слабым повышением гамма-активности, равномерной по площади и глубине.

при проведении детализационно-оценочных работ.

Выделяются следующие характерные признаки, позволяющие отнести эманационные аномалии к тому или иному геологическому типу.

Признаками рудных аномалий являются радоновая (≥ 1) или преимущественно радоновая природа, площадное распространение, форма аномалий часто определяет форму рудного тела. Аномальная площадь характеризуется высокоактивной и среднеактивной концентрацией радона. График эманационного зондирования (I) - неглубокое залегание рудного тела. Аномалия не деэманирует. Гамма-активность устанавливается с глубиной и имеет высокую интенсивность.

Аномалии механических ореолов имеют преимущественно радоновую природу, площадное распространение, изометрическую форму, среднюю и реже высокую концентрацию радона, неравномерно распределенную по площади. Характер графика эманационного зондирования (III) - для изменяющейся концентрации радона с глубиной. Аномалия деэманируется по шпурам с высокой концентрацией радона. Гамма-активность устанавливается по площади и на глубину и изменяется в отдельных точках.

Аномалии газовых ореолов характеризуются радоновой природой, широким площадным распространением, изометрической формой при средней или низкой концентрации радона, равномерно распределенной по площади. График глубинного эманационного зондирования (II). Аномалия слабо деэманируется. Гамма-активность в пределах аномалии не устанавливается.

Аномалии солевых ореолов характеризуются радоновой природой, широким площадным распространением, изометрической формой. В пределах аномалии наблюдается средняя концентрация радона, равномерно распределенная по площади. График глубинного эманационного зондирования - (IУ), характерный для случая равномерного распределения радиоактивных веществ в наносах. Аномалии слабо деэманируются и с глубиной отмечаются слабым повышением гамма-активности, равномерной по площади и глубине.

- осуществить оценку поисковых качеств приборов (чувствительность, порог чувствительности).

3. Произвести градуировку приборов с помощью образцовых жидких радиевых источников.

4. Ознакомиться с физическими и геологическими основами эманационного метода, включая его основные модификации (экспозиционные варианты).

5. Осуществить выбор участков для проведения полевых наблюдений, произвести инструментальную разбивку сети наблюдений (исходя из заданных масштабов съемок).

6. Подготовить к работе вспомогательное оборудование, необходимое для выполнения обычной эманационной съемки, и производства наблюдений с помощью экспозиционных вариантов метода.

7. Выполнить полевые эманационные измерения по маршруту (профилям) и (или) по сети профилей, используя методику наблюдений с измерениями на КП (контрольная точка).

8. Обработать результаты измерений по маршрутам (профилям), по сети профилей и т.п. ; построить графики изменения концентрации эманаций по маршруту (профилям) и геологические разрезы к ним, а также карты графиков и изолиний концентраций радона, с таблицами природы эманаций.

9. Произвести статистическую обработку результатов массовых измерений (определить значения величин нормального и аномального эманационных полей и т.п.). Построить гистограммы и вариационные кривые исследуемых параметров. Оценить качество полевых измерений (по различным методикам).

10. Дать геологическое истолкование результатам эманационного метода, произвести оценку выявленных аномалий.

11. Результаты выполненных работ представить в виде главы сводного отчета по радиометрическим и ядернофизическим методам, отразив в ней: физические основы эманационного метода, методику и технику полевых работ (с модификациями), обработку и интерпретацию результатов.

К отчету должны быть приложены журнал градуировки прибора (приборов), полевой журнал измерений концентрации эманации на участке, графики, карты графиков и изолиний концентраций эманаций и т.п.

Библиографический список литературы

1. Горбушина Л.В., Зимин Д.Ф., Сердюкова А.С. Радиометрические и ядерногеофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. М.; Атомиздат, 1970.

2. Заяц А.П., Нагля В.В. Радиометрическая аппаратура и оборудование. М.; Недра, 1983.

3. Карпова Е.Н. Эманационная съемка. МГУ, М., 1976.

4. Методические рекомендации по применению эманационного трекового метода. Л., НПО "Рудгеофизика", 1982.

5. Методические указания по проведению учебной геофизической практики (Раздел "Радиометрия и ядерная геофизика"). / Н.Ф.Шевченко, А.Г.Антонец . ТашПИ, Ташкент, 1985.

6. Методы поисков урановых месторождений. / В.И.Красников, А.Г.Граммаков, А.И.Никонов и др. /. М.; Недра, 1969.

7. Нагля В.В., Овчинников Л.И. Радиометрические и ядернофизические методы разведки. М.; Недра, 1982.

8. Новиков Г.Ф., Капков Ю.Н. Радиоактивные методы разведки. Л.; Недра, 1965.

9. Пруткина М.И., Шашкин В.Л. Справочник по радиометрической разведке и радиометрическому анализу. М., Энергоатомиздат, 2-е изд. 1984.

10. Радиометрия и ядерная геофизика. / Л.В.Горбушина, Д.Ф.Зимин, В.В. Нагля, Л.И. Овчинников /. М.; Недра, 1974.

11. Разведочная ядерная геофизика. Справочник геофизика/ Под ред. В.М.Запорожца. М.; Недра, 1977.

12. Шашкин В.Л., Пруткина М.И. Эманирование радиоактивных руд и минералов. М.; Атомиздат, 1979.

13. Экспозиционные эманационные методы поисков месторождений полезных ископаемых. / В.К.Титов, В.А.Венков, Т.Л.Авдеева, Е.И.Кувшинникова /. М.; Недра, 1985.