
Т. Д. ОГИЛЬВИ, Н. А. ОГИЛЬВИ, А. В. ВЫРУБОВА, М. А. ДРОНОВА

**ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ИЗМЕРЕНИЮ
РАДОНА И РАСТВОРЕННОГО РАДИЯ
В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ПРОСТЕЙШИМИ МЕТОДАМИ**

ГОСГЕОЛИЗДАТ
1946

Т. Д. ОГИЛЬВИ, Н. А. ОГИЛЬВИ, А. В. ВЫРУБОВА,
М. А. ДРОНОВА

ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО
ПО ИЗМЕРЕНИЮ РАДОНА
И РАСТВОРЕННОГО РАДИЯ
В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ
ПРОСТЕЙШИМИ МЕТОДАМИ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
КОМИТЕТА ПО ДЕЛАМ ГЕОЛОГИИ при СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР
МОСКВА 1946 ЛЕНИНГРАД

Часть I

ОБЩАЯ

§ 1. НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ГЛАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УРАНОВОГО РЯДА

Среди различных радиоактивных элементов для нас наибольшее значение имеют уран, радий и радон, поэтому на описании некоторых их свойств мы и остановимся подробнее.

Уран

Уран является последним элементом в таблице Менделеева, его атомное число 92. Принадлежит к подгруппе хрома, шестой группы периодической системы, он имеет два валентных электрона на внешней орбите, что определяет его максимумальную шестивалентность. Весьма характерны соединения с четырехвалентным ураном, остальные валентности не играют заметной роли.

Химическая активность урана весьма велика и в группе хрома, при переходе от вольфрама к урану, она повышается резким скачком, причем уран оказывается элементом более реакционно-способным, чем даже хром.

Почти весь уран сконцентрирован во внешней силикатной оболочке земли.¹ Усредненный кларк для этой оболочки по Комлеву будет $4,5 \cdot 10^{-4}\%$. В железном ядре и в сульфидной оболочке уран не играет никакой роли. Наибольшее содержание урана имеют кислые породы типа гранита $6—9 \cdot 10^{-4}\%$, в основных породах среднее содержание урана не превышает $3 \cdot 10^{-4}\%$.

Известно около 100 минералов, содержащих уран, однако, эти минералы не охватывают всего урана и, как отметил В. И. Вернадский, для него очень характерно состояние крайнего рассеяния, в виде ничтожных примесей в других минералах.

О распространенности урана в подземных водах мы имеем мало данных. Имеются указания, что он был обнаружен в ряде минеральных источников Франции. Исходя из соображений о растворимости урана и его соединений, мы должны ожидать, что чаще всего уран будет встречаться в кислых водах, насыщенных CO_2 .

¹ Более подробно геохимию урана см. в руководствах: Д. И. Шербакова 40), Г. Берг (3), А. В. Королев (15), Ферсман (33) и другие.

Настоящее руководство составлено в основном для работников полевых партий районных Геологических Управлений, занимающихся измерениями радиоактивности вод при помощи простейших радиометрических приборов.

Для общего ознакомления с изучаемым явлением в небольшой вводной части освещаются некоторые вопросы генезиса и режима радиоэлементов в подземных водах.

В составлении руководства приняли участие: инженер Огильви Н. А., составивший общую часть, инженер Огильви Т. Д., составившая вторую инструктивную часть и радиологи Вырубова А. В. и Дронова М. А., давшие материал соответствующее иллюстративное оформление.

Радиоактивные ряды

Группы периодической системы	ПЕРИОДЫ ПОЛУРАСПАДА: л—лет, д—дней, ч—часов, м—минут, с—секунд											
	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI
Положительный заряд ядра	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
РЯД УРАНА	<p>Длина пробега в см. \leftarrow — Превращение \rightarrow β — Превращение</p> <p>26,8 м $\xrightarrow{4,63}$ RaB $\xrightarrow{4,04}$ RaA $\xrightarrow{3,31}$ Rn $\xrightarrow{3,12}$ Ra $\xrightarrow{3,20}$ Jo</p> <p>3,05 м $\xrightarrow{4,04}$ RaA $\xrightarrow{3,31}$ Rn $\xrightarrow{3,12}$ Ra $\xrightarrow{3,20}$ Jo</p> <p>3,825 д $\xrightarrow{3,31}$ Rn $\xrightarrow{3,12}$ Ra $\xrightarrow{3,20}$ Jo</p> <p>1590 л $\xrightarrow{3,12}$ Ra $\xrightarrow{3,20}$ Jo</p> <p>8,3 · 10⁴ л $\xrightarrow{3,20}$ Jo</p> <p>19,7 м $\xrightarrow{99,96\%}$ RaC $\xrightarrow{10-6 с}$ RaC'</p> <p>1,32 м $\xrightarrow{3,87}$ RaC'' $\xrightarrow{4,05}$ RaD</p> <p>22,3 л $\xrightarrow{0,04\%}$ RaC'' $\xrightarrow{6,85}$ RaD</p> <p>24,5 д $\xrightarrow{1,14 м}$ UX₁ $\xrightarrow{3,10^3 л}$ UX₂ $\xrightarrow{4,5 · 10^3 л}$ U</p> <p>3,20 м $\xrightarrow{3,87}$ RaC'' $\xrightarrow{4,05}$ RaD</p> <p>4,9 д $\xrightarrow{137,6 л}$ RaE $\xrightarrow{21}$ Po</p> <p>устойчив $\xrightarrow{3,84}$ Pb $\xrightarrow{206}$</p>											

РЯД АКТИНИЯ	<p>устойчив $\xrightarrow{6,39}$ AcD $\xrightarrow{3 \cdot 10^4 л}$ UV $\xrightarrow{3 \cdot 10^4 л}$ Pa $\xrightarrow{5 \cdot 10^8 л}$ AcU</p> <p>4,76 м $\xrightarrow{4,99}$ AcC'' $\xrightarrow{5,41}$ AcC $\xrightarrow{0,16\%}$ AcC'</p> <p>2,16 м $\xrightarrow{0,16\%}$ AcC $\xrightarrow{6-10 с}$ AcC'</p> <p>36,0 м $\xrightarrow{6,47}$ AcB $\xrightarrow{2 \cdot 10 с}$ AcA $\xrightarrow{5,68}$ AcEm $\xrightarrow{4,28}$ AcX $\xrightarrow{4,58}$ RdAc</p> <p>13,5 л $\xrightarrow{3,59}$ Ac $\xrightarrow{18,9 д}$ RdAc</p> <p>24,6 ч $\xrightarrow{3 \cdot 10^4 л}$ UV $\xrightarrow{3 \cdot 10^4 л}$ Pa $\xrightarrow{5 \cdot 10^8 л}$ AcU</p>											
	РЯД ТОРИЯ	<p>устойчив $\xrightarrow{49}$ Pb $\xrightarrow{6,7 л}$ MsTh₁ $\xrightarrow{1,8 \cdot 10^{10} л}$ Th</p> <p>3,20 м $\xrightarrow{4,69}$ ThC'' $\xrightarrow{35\%}$ ThC $\xrightarrow{60,5}$ ThC $\xrightarrow{10^{-9} с}$ ThC</p> <p>10,6 ч $\xrightarrow{5,58}$ ThB $\xrightarrow{0,14 с}$ ThA $\xrightarrow{4,96}$ ThEm $\xrightarrow{4,26}$ ThX $\xrightarrow{3,93}$ RdTh</p> <p>6,13 $\xrightarrow{6,13}$ MsTh₂ $\xrightarrow{1,90 л}$ RdTh</p>										

Особенно благоприятные условия для растворимости урана будут в содовых водах, насыщенных CO_2 , типа Боржома, Уатхары, Виши и др. Поэтому в этих водах, при условии, если они при своем движении соприкасаются с гранитами или другими ураносодержащими породами, должно быть повышенное количество урана. Наиболее вероятно, что уран в водах такого типа присутствует в виде иона уранила (UO_2). Далее, как указывает Д. И. Щербаков (40), уран особенно легко переходит в раствор в присутствии сульфатного иона (SO_4^{2-}). В связи с этим указанием делаются особенно интересными определения урана в сульфатных кислых водах, связанных с гранитами.¹

Радий

Посредством нескольких ступеней радиоактивного распада (см. таблицу 1), уран переходит в радий — элемент, принадлежащий ко второй группе периодической системы. По истечении достаточно длительного промежутка времени порядка миллиона лет между ураном и радием устанавливается радиоактивное равновесие, т. е. количество распадающихся в единицу времени атомов радия делается равным количеству вновь образующихся его атомов. В связи с наличием такого радиоактивного равновесия, во всех горных породах, не затронутых процессами химического выветривания и выщелачивания, между содержанием радия и урана имеется постоянное отношение, а именно: $\text{Ra} : \text{U} = 3,4 \cdot 10^{-7}$, т. е. на одну тонну металлического урана приходится 0,34 г радия. В минералах или породах молодого происхождения или подвергшихся интенсивному выщелачиванию, отношение $\text{Ra} : \text{U}$ может значительно отклоняться от равновесного как в ту, так и в другую сторону. Если это отношение меньше равновесного, то оно объясняется молодостью минерала, или большей выщелачиваемостью радия, чем урана. В обратном случае — избыток количества радия над равновесным его количеством, мы имеем дело или с процессами более интенсивного выщелачивания урана из минералов, или с молодыми отложениями подземных вод, из которых преимущественно выпадал радий (например, отложения минеральных источников Пятигорска: травертин, марганцовистые стяжения и т. д.). Отношение концентрации радия к урану в естественных водах может колебаться в еще больших пределах, поскольку условия выщелачивания и выпадания в осадки урана и радия — совершенно различны.

В связи с тем, что концентрация радия нигде не достигает сколько нибудь значительной величины (даже в чистых урановых рудах, обогащенных вторичными процессами радием, его содержание не превышает 2 г на тонну), мы не имеем в природе специфических радиевых минералов и весь радий находится в крайне рассеянном состоянии среди других минералов.

¹ Например, воды, дающие сульфатный Нарзан в Кисловодске, циркулирующие по гранитной дресве и содержащие 1,26 г/л SO_4^{2-} при кислой реакции за счет насыщенности воды CO_2 св ($\text{pH}=6,24$)

В подземных водах также, с точки зрения обычных величин, концентрации радия исключительно малы. В наиболее радионосных водах эти концентрации не превосходят $5 - 10 \cdot 10^{-9}$ г в 1 л, обычно же они значительно меньше и измеряются $10^{-11} - 10^{-12}$ г/л. Естественно, что при таких концентрациях нельзя говорить о каких-либо химических соотношениях, вытекающих из закона действующих масс. Поэтому поведение радия в естественных водах определяется не растворимостью тех или других его солей, а исключительно различными процессами адсорбции и дезадсорбции.

Ниже, при описании генезиса радиоактивных вод, мы остановимся на этих процессах несколько более подробно, сейчас же укажем только, что радий в воде крайне неустойчив, он очень легко при соприкосновении воды с твердым телом адсорбируется им, далее, при выпадении из растворов осадков, особенно коллоидных гидратов алюминия, железа и марганца, он адсорбируется ими и увлекается из растворов.

Так например, при осаждении гидрата марганца из воды с ним выпадает от 90 до 100% растворенного радия. В связи с такой способностью гидрата марганца увлекать радий, как указывает Пустовалов (27), активность манганолитов заметно выше активности обычных горных пород.

В отдельных случаях содержание радия в марганцовистых включениях среди осадков вод, несущих радий, может оказаться весьма повышенным (марганцовистые включения в травертинах, отложенных коренными серными водами в Пятигорске).

Выпадающая глинистая муль из воды также увлекает значительное количество радия.

Наконец, в силу своей изокристалличности с барием, радий полностью извлекается из воды при выпадении из нее кристаллических солей бария (например, BaSO_4).

Радон

Атом радия, выбрасывая одну альфа частицу, превращается в элемент нулевой группы — радон. Радон, в свою очередь, путем альфа-превращения переходит в следующие элементы, так называемые коротко живущие продукты распада RaA , RaB и т. д. (см. табл. 1).

Распад радия происходит крайне медленно, период его полураспада равен 1580 лет.

Радон распадается значительно быстрее, его период полураспада равен всего 3,825 дней, такое соотношение между периодами полураспада радия и радона дает возможность при вычислении количества образовавшегося радона из радия пренебречь распадом радия и вычисления вести по простым показательным формулам. А именно, если в герметически закрытом сосуде в начальный момент имеется N атомов радия, лишенных своей эманации (радона), то на момент времени t , в этом сосуде накопится N_1 атомов радона, которые определяются формулой:

$$N_1 = \frac{N_{\lambda R_a}}{\lambda R_n} (1 - e^{-\lambda t}).$$

где
 λ_{R_a} — константа распада радия,
 λ_{R_n} — константа распада радона.

Если обозначить через N_{∞} максимальное количество радона, которое находится в радиоактивном равновесии с радием при $t \rightarrow \infty$, то из приведенной формулы получим:

$$N_1 = N_{\infty} (1 - e^{-\lambda t}).$$

При $t = 30$ дней, величина, стоящая в скобках в правой части равенства, весьма близко приближается к единице ($1 - e^{-\lambda t} = 0,9957$), поэтому практически считается, что через 30 дней наступает радиоактивное равновесие между радоном и радием.

Распад самого радона при условии, если он находится в замкнутом сосуде, в котором отсутствует радий, протекает по простому показательному закону:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t},$$

где N_0 — начальное количество радона.

В приложении I приведены значения функций $e^{-\lambda t}$ и $1 - e^{-\lambda t}$, позволяющие быстро производить все необходимые расчеты. Радон, являясь инертным газом, совершенно химически не реагирует с другими элементами, поэтому при всех исследованиях радоновых вод, нам приходится учитывать только его физические свойства, из которых наибольшее значение имеют:

- а) растворимость радона в жидкостях.
- б) поглощение радона твердыми телами,
- в) выделение радона из жидких и твердых тел (эманирование).

а) Растворимость радона в жидкостях. Как показали многочисленные исследования, растворимость радона в жидкостях полностью подчиняется законам Генри и Дальтона. Если в замкнутый сосуд (бутыль), содержащий некоторый объем воды W и объем воздуха V ввести радон и затем этот сосуд сильно взболтать, то радон распределится между водой и воздухом так, что отношение концентрации радона в воде к его концентрации в воздухе будет равно постоянной для данной температуры и данного состава воды, величине γ — коэффициенту распределения, т. е.

$$\gamma = \frac{C_w}{C_v} = \frac{q_w \cdot V}{q_v \cdot W},$$

где C_w — концентрация радона в воде,
 q_w — общее количество радона в воде,
 C_v — концентрация радона в воздухе,
 q_v — общее количество радона в воздухе,
 V — объем воздуха
 W — объем воды

Коэффициент распределения γ сильно зависит от температуры: вначале (до 70°C) он резко падает с повышением температуры, затем начинает изменяться более медленно. В таблице 3 (см. стр. 46), приведены значения коэффициента распределения при различных температурах. Изменения коэффициента распределения с температурой необходимо всегда учитывать при производстве измерений (см. ниже) и вводить соответствующие поправки.

Химический состав воды также значительно сказывается на коэффициентах распределения радона, так как при увеличении ее минерализации растворимость радона падает, например, для морской воды коэффициент γ на 16% меньше, чем для дистиллированной. Зависимость растворимости радона от минерализации требует, при точных определениях этого элемента в воде, производить эталонирование приборов с водой близкого химического состава или отдельно определять коэффициент распределения радона в исследуемой воде и вводить соответствующую поправку (см. ниже).

Растворимость радона в органических жидкостях значительно больше, чем в воде. Наибольшей величины она достигает в оливковом масле. Весьма высок коэффициент распределения R_p в нефти (примерно в 40 раз больше, чем в воде). Это обстоятельство всегда надо учитывать при определении радона в нефтяных водах, поскольку небольшая примесь нефти к исследуемой воде может сильно исказить результаты измерений.

б) Поглощение радона твердыми телами. Коллоидальные вещества, твердые органические вещества и особенно вещества, содержащие серу, например, вулканизированный каучук, значительно поглощают радон. Металлы также адсорбируют некоторое количество радона. Сильное поглощение радона каучуком вызывает ряд погрешностей при его определениях. Поэтому при всех измерениях необходимо стремиться, чтобы соединительные резиновые трубки были бы по возможности короткие, далее трубки желательнее иметь из красной натуральной резины, поскольку она поглощает радон меньше, чем синтетическая черная резина.¹

в) Выделение радона из жидких и твердых тел. При интенсивном продувании свежими порциями воздуха растворов, содержащих радий, весь радон, накопившийся в них, полностью извлекается.

Значительно сложнее происходит процесс выделения радона из твердых тел. В неорганических соединениях и минералах, при обычных температурах диффузия радона через кристаллическую решетку не происходит, поэтому в этих телах эманирует только тонкий поверхностный слой. В силу этого количество выделившегося радона, при прочих равных условиях, возрастает при увеличении поверхности. Кроме того, эманирование сильно зависит от температуры и влажности твердого тела и в большинстве случаев оно увели-

¹ Ошибки от поглощения радона резиной бывают настолько велики, что необходимо провести специальные исследования для подбора материала на соединительные трубки—различные гибкие пластмассы, покрытие резиновых трубок специальными лаками и т. п.

чивается с повышением температуры и с увеличением влажности. Выделения радона из твердого тела в воду обычно несколько больше, чем из сухого тела в воздух.

При значительной же влажности твердого вещества эта разница сглаживается.

Единицы измерения количества радона

За единицу измерения радона принято количество радона, находящееся в равновесии с одним граммом радия, называемое «кюри».

Это количество радона при нормальных условиях (атмосферное давление 760 мм и $t = 0^\circ\text{C}$) будет занимать объем 0,63 мм³. Остальные продукты распада радиевого ряда также измеряются единицей «кюри».

Для практических измерений единица кюри слишком велика и поэтому выведены дробные единицы «милли-кюри» — одна тысячная кюри и «милли-микрокюри» (10^{-9}).

Для измерения концентраций радона в водах и газах приняты единицы: кюри на 1 литр, эман и махе. Между ними существуют следующие соотношения:

$$\begin{aligned} 1 \frac{\text{кюри}}{\text{литр}} &= 10^{10} \text{ эманов} = 2,75 \cdot 10^9 \text{ махе,} \\ 1 \text{ эман} &= 10^{-10} \frac{\text{кюри}}{\text{литр}} = 0,275 \text{ махе,} \\ 1 \text{ махе} &= 3,64 \cdot 10^{-10} \frac{\text{кюри}}{\text{литр}} = 3,64 \text{ эмана.} \end{aligned}$$

§ 2. РАДИОАКТИВНОСТЬ ПРИРОДНЫХ ВОД

Благодаря громадному рассеянию радиоактивных элементов в литосфере, они широко распространены и в природных водах. Однако, относительно больших концентраций в воде эти элементы достигают сравнительно редко и нужны особые геологические условия, чтобы образовались специфические радиоактивные воды. Из различных радиоактивных элементов в природных водах обычно определяют радий и радон. В отдельных случаях воды исследуются на присутствие MsTh , Thx , RaTh и на элементы актинового ряда.

В зависимости от преобладания в воде радия или радона, радиоактивные воды принято подразделять на радоновые и радионосные. Такая классификация радиоактивных вод не охватывает все их виды, поэтому нами рекомендуется несколько более расширенная классификация, обнимающая четыре типа радиоактивных вод:

1. Радоновые воды, в которых содержание радона превышает

определенный минимум¹ и больше чем отвечает равновесию с растворенным в воде радием. Концентрация же самого радия незначительная (меньше 10^{-11} г/л)².

В зависимости от содержания радона эти воды подразделяют на:

- а) сильно радиоактивные — выше 300 эман,
- б) средне-радиоактивные от 100 до 300 эман,
- в) слабо-радиоактивные меньше 100 эман.

2. Радоно-радиевые воды, содержание радона в которых больше того же минимума и больше чем отвечает равновесию с растворенным в воде радием. Содержание же самого радия повышенное (больше 10^{-11} г/л).

3. Радиевые воды — воды, в которых наблюдается повышенная концентрация радия (больше 10^{-11} г/л).

Содержание же радона равно или меньше равновесного количества радия.

4. Радионосные воды — воды, в которых концентрация радия достигает такой величины, что делается технически возможным его промышленная добыча.

В качестве примеров радоновых вод³ первого типа можно привести:

а) Радиоактивные воды Пятигорска (Сев. Кавказ). Некоторые из выходов этих вод, каптированных штольней, обладают радиоактивностью до 3600 эман при ничтожном содержании радия.

б) Высокотермальные Ходжа-Оби-Гармские воды в Таджикистане. В них содержание радона достигает 55 эман, а концентрация радия не превышает $2 \cdot 10^{-12}$ г/л.

в) Цхалтубские минеральные воды в Грузии. Содержание радона в отдельных выходах (грифонах) достигает 620 эман, при содержании радия $6 \cdot 10^{-12}$ г/л. Эти термы являются уже переходными между первым и вторым типами.

Представителями второго типа радона — радиевых вод могут служить:

а) Минеральные воды в Железноводске (Сев. Кавказ), обладающие содержанием радона до 80 эман и концентрацией радия до $10 - 20 \cdot 10^{-11}$ г/л.

б) Минеральные воды Кисловодска (Нарзан, Доломитный), содержание радона в которых колеблется в пределах $10 - 15$ эман при концентрации радия $1,1 - 1,7 \cdot 10^{-11}$ г/л.

К третьему типу радиевых вод приближаются коренные сероводородные воды в Пятигорске, содержащие растворенного радия $4 \cdot 10^{-11}$ г/л, при содержании радона $4 - 6$ эман.

¹ Выбор минимальной концентрации радона, позволяющей отнести данную воду к группе радоновых или радоно-радиевых вод, является в достаточной степени произвольным. Условно, следуя классификациям, принятым в бальнеологии, за эту величину возьмем 10 эман.

² Предельная концентрация радия в 10^{-11} принята условно.

³ Подробный список радоновых вод имеется в технической энциклопедии (32).

Радиевыми и радиеносными водами являются воды многих нефтяных месторождений, а также воды, связанные с радиевыми рудами.

§ 3. ГЕНЕЗИС РАДИОАКТИВНЫХ ВОД¹

Наиболее широкое распространение в природе имеют воды первых двух типов — радоновые и радоново-радиевые.

Происхождение радоновых вод может быть тройкое:

Во-первых, природные воды могут насыщаться радоном за счет ее медленной диффузии из более глубоких геологических горизонтов.

Во-вторых, из глубины могут подниматься отдельные газовые струи, обогащенные радоном, которые растворяясь в подземных водах образуют радоновые воды.

В-третьих, при фильтрации подземных вод по радиоактивным породам они будут обогащаться из этих пород радоном и другими радиоактивными элементами.

Происхождение радоновых вод за счет медленной диффузии радона из глубины, может быть представлено следующей схемой (рис. 1).

Пусть на некоторой глубине залегают радиоактивные породы *A*, перекрытые слоем водонепроницаемых пород *B*, над которыми лежит слой водопроницаемых пород *C*, вмещающих водоносный горизонт. Поскольку не имеется абсолютно газонепроницаемых пород, через слой *B* происходит медленное проникновение радона, который, попадая в водоносный горизонт, даст начало радоновым водам.

Такое медленное проникновение радона через породы происходит благодаря ее диффузии под влиянием разности концентрации (парциальных давлений) радона в почвенном воздухе среди активных пород и вышележащих не активных пород.

В районах, сложенных породами обычной средней радиоактивности, величина эксхалации, т. е. количества радона, поступающего в одну секунду с одного квадратного сантиметра почвы в атмосферу, заключается в пределах $2,14 \cdot 10^{-7} \frac{\text{кюри}}{\text{см}^2 \text{сек}}$. Благодаря такой непрерывной эксхалации, воды всех водоносных горизонтов и особенно верховодки должны содержать хотя бы то минимальное количество радона, которое отвечает растворимости этого газа из почвенного воздуха.

В местах, где залегают сильно радиоактивные породы, концентрация радона в почвенном воздухе повышается, так например, в

¹ Генезис радиоактивных вод является сложной комплексной проблемой, обнимающей вопросы генезиса самой воды, ее химических и физических свойств и происхождения различных радиоактивных элементов в ней. В настоящем параграфе мы совершенно не затрагиваем всю совокупность этих сложных вопросов и пытаемся только в общих чертах наметить пути происхождения радия и радона в подземных водах.

Табошаре, по данным Кирикова и других (14). Эта величина колеблется от $16 \cdot 10^{-10}$ до $1160 \cdot 10^{-10} \frac{\text{кюри}}{\text{литр}}$ (над сбросом).

В районе выходов Ходжа-Оби-Гармских минеральных вод (23) средняя концентрация радона в почвенном воздухе равна $1 \cdot 10^{-10} \frac{\text{кюри}}{\text{литр}}$, над сбросом же, по которому выходит термальная вода, она повышается до $55 \cdot 10^{-10} \frac{\text{кюри}}{\text{литр}}$.

Естественно, если грунтовый поток протекает над такой зоной с повышенным выделением радона из почвы, его вода приобретает тоже повышенную радиоактивность, причем максимум концентрации радона в воде должен быть несколько сдвинут по направлению движения грунтового потока (рис. 2).

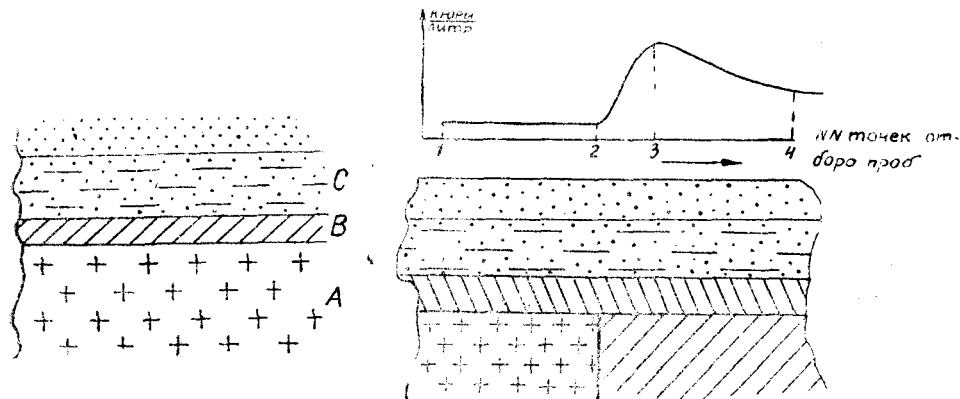


Рис. 1.

Рис. 2.

Кроме медленной диффузии радона через породы по отдельным трещинам, в земной коре могут подниматься сухие газовые струи, обогащенные радоном. Растворяясь в вышележащих водоносных горизонтах этот газ дает начало чисто радоновым водам. Хотя теоретически такой генезис радоновых вод и вполне возможен, но встречается он, повидимому, весьма редко, во всяком случае авторам не известны такие примеры.

Основная масса радоновых вод происходит за счет обогащения воды радоном из тех пород, по которым вода протекает. Такое обогащение может происходить, во-первых, из пород, содержащих урановые минералы и являющихся, таким образом, первичным источником радия и с ним связанного радона и, во-вторых, имеются примеры, когда сама вода несет растворенный радий, который, выпадая из воды на пути ее циркуляции, обогащает собой породы, а вода в свою очередь в этих породах обогащается радоном. Таково происхождение, по данным А. Н. Огильви, Пятигорских радоновых вод (Сев. Кавказ). Коренные сероводородные воды, содер-

жащие растворенный радий ($10 - 20 \cdot 10^{-12}$ г/л) и почти не содержащие радон, выходят по ряду сбросовых трещин, проходящих в районе Горячей горы. Часть этих вод выходит в виде горячих сероводородных источников на склоне этой горы, другая часть воды проникает в породы, слагающие террасы р. Подкумка и по ним просачивается к этой реке. При своей фильтрации по делювиальным отложениям, дериваты коренной сероводородной воды остывают, теряют H_2S и частично свободный CO_2 и из них почти полностью выпадает растворенный радий. В то же время эти воды сильно обогащаются радоном, получая его из радия, отложенного в аллювиальных породах.

Все горные породы, содержащие радий, способны выделять некоторое количество радона в воду или в воздух. Это их свойство называется эманацией способностью.

Эманация способность пород зависит не только от содержания в них радия, но и от многих других факторов, как-то: механического и химического состава, физических свойств, температуры, влажности и т. д. Поэтому, для гидрогеолога, объясняющего генезис радоновых вод за счет радиоактивности пород, по которым вода фильтруется, эманация способность пород является наиболее важной величиной.

Эманация способность пород выражается в эквивалентном количестве радия, который способен выделить столько же радона, сколько его выделяет один грамм породы за тот же промежуток времени.

По Н. А. Огильви (25) количество радона, выраженного в кюри, выделяющегося из одного грамма породы при радиоактивном равновесии в течение одного месяца, называется радиоактивной мощностью породы.

Ежесекундное выделение радона из одного грамма породы будет R_d , где λ — константа распада радона. Отношение радиоактивной мощности породы к действительному содержанию радия в одном грамме породы называется коэффициентом эманирования K_{Rd} .

Зависимость концентрации радона в водах от радиоактивности пород, по которым вода движется, отмечается многими авторами.

В случае фильтрации воды по зернистым породам, зависимость между концентрацией радона в воде j , длиной пути фильтрации l и расходом через единицу площади сечения грунтового потока q , выразится формулой:

$$j = \frac{R \cdot d \cdot 1000}{P} \left(1 - e^{-\lambda \frac{pl}{q}} \right),$$

где R — радиоактивная мощность пород,
 d — объемный вес пород,
 p — пористость.

Ст. И. Е. Старик. Радиологическое изучение района Кавказских минеральных вод. Изв. Акад. Наук СССР, № 6, 1943 г.

Множитель перед скобками $\frac{R \cdot d \cdot 1000}{P}$ соответствует той максимальной концентрации радона в $\frac{\text{кюри}}{\text{литр}}$, которую может иметь вода, заполняющая целиком поры в зернистом грунте и соприкасающаяся с ним в течение одного месяца (практически).

Так, например, для песков в районе Цхалтубо (Грузия), имеющих радиоактивную мощность $R = 20 \cdot 10^{-12}$ $\frac{\text{кюри}}{\text{грамм}}$, максимальная концентрация радона в воде будет в 1170 эман (при $d = 1,75 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ и $p = 0,3$).

При движении воды по трещинам среди скальных пород, имеем слишком много неизвестных величин (поверхность трещин, эманация способность с их поверхности, скорость воды в трещинах и т. д.) для того, чтобы выразить математическим уравнением зависимость между радиоактивностью воды и пород. Поэтому, при объяснении радиоактивности трещинных вод, приходится прибегать к аналогиям, доказывающим, что из пород близкой радиоактивности могут получиться воды с нужной нам концентрацией радона.

В качестве примеров радоновых вод, обогащающихся радоном в трещинах изверженных пород, можно привести следующие воды:

1. Пресные воды, циркулирующие по трещиноватым трахитам в районе КМВ (Сев. Кавказ), обладают концентрацией радона до 62 эман.

Воды, циркулирующие по гранитам в районе КМВ, имеют концентрацию радона до 22 эман, при очень небольшой эманация способности пород.

2. Пресные родники, вытекающие из гранитов в районе Ходжа-Оби-Гарм (Таджикистан), содержат радона 20—25 эман, при радиоактивной мощности гранитов в $1 \cdot 10^{-12}$ $\frac{\text{кюри}}{\text{г/породы}}$.

Таким образом, генезис радоновых вод очень часто хорошо объясняется радиоактивностью тех пород, по которым вода циркулирует. Но для того, чтобы понять детали обогащения вод радоном из горных пород и особенно выяснить взаимоотношение генезиса радоновых, радоно-радиевых и радиевых вод, необходимо остановиться на процессах эманирования и миграции радия из пород в воды.

Согласно последних работ И. Е. Старика (30) и Е. С. Шепетьевой (37, 38, 39) радий и радон, содержащиеся в горных породах, не находятся внутри кристаллических решеток, а содержатся в мельчайших капиллярах, которые всегда пронизывают минералы, слагающие горные породы. Атомы радия задерживаются в адсорбированном состоянии на поверхности этих капилляров, повидимому, входя в поглощенный комплекс катионов, атомы же радона переходят в воду, которая заполняет эти капилляры.

При соприкосновении капельно-жидкой воды с горной породой начинается диффузия радиоактивных элементов из капилляров, причем для радона происходит только чистая диффузия из пле-

ночной воды в воду, заполняющую макропоры (т. е. в капельно-жидкую фазу), для радия же этот процесс сопровождается дезадсорбцией его с поверхности капилляров. Естественно, что чистая диффузия радона протекает гораздо проще, в результате чего содержание радона в воде будет больше, чем отвечающее ему количество радия, перешедшего из породы в воду. Итак, мы имеем здесь процесс естественного избирательного обогащения подземных вод радоном по сравнению с радием.

Из приведенной схемы миграции радия и радона вытекает ряд следствий, имеющих значение при объяснении генезиса радоновых и радонорадиевых вод:

1. Поскольку переход радона связан только с его диффузией, химический состав вод не влияет на эманлирующую способность пород.

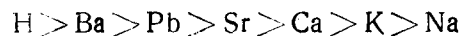
2. Температура вод должна сказываться только в той мере, в какой изменяется коэффициент диффузии при изменении температуры. Следовательно, при повышенной температуре вод, протекающих по породе, эманлирующая способность пород будет возрастать. Так, например, для гранитов, в районе Ходжа-Оби-Гармских минеральных вод в Таджикистане имеется следующая зависимость коэффициента эманирования от температуры (23).

$$\text{При } t^{\circ} = 20^{\circ}, K_{Rn} = 20\%; \text{ при } t^{\circ} = 50^{\circ}, K_{Rn} = 80\%$$

Происхождение радия в водах, повидимому, всегда приходится связывать с его выщелачиванием из тех пород, по которым вода протекает.

Поскольку радий находится в адсорбированном состоянии, входя в поглощенный комплекс катионов, на его выщелачивание сильно влияет химический состав вод.

И. Е. Старик (30) дает следующий ряд катионов, расположенных в порядке уменьшения силы воздействия на выщелачивание радия из пород.



Таким образом, воды разного химического состава будут по разному выщелачивать радий и, следовательно, из одних и тех же пород могут образоваться радоновые или радонорадиевые воды.

Так, например, все пресные, слабо минерализованные воды, циркулирующие по трещинам в трахилипаритах района КМВ (Сев. Кавказ), являются чисто радоновыми водами. В то же время минеральные воды Железноводска, из тех же трахилипаритов выщелачивают радий в количестве до $200 \cdot 10^{-12}$ г/л и являются уже радоно-радиевыми водами.

Е. С. Шепотьевой (39) установлены некоторые закономерности количества выщелоченного радия от длины пути фильтрации, временные фильтрации и ряд других факторов, влияющих на миграцию радиоэлементов.

Приводим основные выводы этого автора:

1. Концентрация Ra и его изотопов в воде, при всех прочих равных условиях, будет тем больше, чем больше содержится их в породах и чем меньше их адсорбция на породах.

2. Эта концентрация зависит от внутренней структуры породы.

3. От λ концентрация изотопов Ra в воде может зависеть и не зависеть.

4. Особенно выгодными для появления вод с большими концентрациями Ra и его изотопов являются длинные пути воды по той породе, из которой идет выщелачивание, но только при больших Θ (времени соприкосновения воды с породой).

5. Большие Θ благоприятствуют появлению вод с большими концентрациями Ra и его изотопов, в том случае, если путь воды по породе, из которой идет выщелачивание, достаточно длинен; при коротких путях большие Θ не выгодны.

При совокупности всех благоприятных факторов: подходящего химического состава вод и длинного пути ее фильтрации по активным породам, в течение длительного промежутка времени, могут образоваться воды, сильно обогащенные радием.

Несколько трудней объяснить в радиевых и радионосных водах малое содержание радона, отвечающее только равновесному количеству его с растворенным в воде радием. В этом отношении можно выдвинуть две гипотезы: во-первых, можно предположить, что имеются такие благоприятные естественные условия, при которых процент выщелаченного радия равен коэффициенту эманирования радиоактивной породы.

Во-вторых, вода, после своего обогащения радием и радоном, может проходить настолько длинный путь, что все избыточное количество радона над равновесием успело распасться.

§ 4. РЕЖИМ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ

Концентрация радона, радия и других радиоэлементов в многих подземных водах не остается постоянной, а претерпевает ряд изменений, в зависимости от изменения других свойств подземных вод.

Изменение концентрации радиоактивных элементов, во-первых, может происходить параллельно с изменением концентрации других химических инградиентов воды, под влиянием общих гидрогеологических причин и, во-вторых, для радиоактивных элементов могут существовать специфические, только им присущие, факторы, влияющие на их режим.

К общим гидрогеологическим факторам, влияющим на режим радиоэлементов, относятся: условия смешения вод, разбавление радиоактивных вод неактивными водами, перераспределение струй с различной концентрацией радиоактивных элементов и т. д.

Так, например, для минеральных вод Кисловодска типа Нарзана хорошо установлено их смешанное происхождение, а именно: основная струя хлоридно-натриевых вод, поднимающаяся из грани-

тов, смешивается с пресными водами на горизонте валанжинских доломитов. В результате этого смешения, между всеми химическими инградиентами вод типа Нарзана, устанавливается простая линейная зависимость. Такая же линейная зависимость по данным Н. А. Огильви (24), наблюдается и между концентрациями радия и тория X, с одной стороны, и концентрацией хлора с другой.¹

Специфические факторы, влияющие на режим радио-элементов в водах, зависят от их радиоактивных свойств. Так, для концентрации радона в подземных водах А. Н. Огильви (20) устанавливает, что его концентрация может закономерно увеличиваться или уменьшаться при изменении дебита источников. А именно: если вода после насыщения радоном проходит некоторый путь по неактивным породам, на котором — в силу естественного распада теряется некоторое количество радона, то при увеличении дебита и, следовательно, скорости движения воды, концентрация радона в воде будет увеличиваться.

Если же вода выходит непосредственно из тех пород, в которых она обогащается радоном, то тут могут быть два случая:

1. Выход находится в пределах подъема кривой увеличения концентрации радона.

2. Вода выходит на участке максимальной ее высоты. В первом случае повышение дебита источника вызывает понижение его радиоактивности, во втором — изменение дебита в известных пределах не будет сказываться на его радиоактивности.

Изменение температуры воды также может влиять на концентрацию радона в ней, причем эта зависимость может быть достаточно сложной, поскольку, с одной стороны, при увеличении температуры уменьшается растворимость радона в воде, а, с другой стороны, увеличивается эманулирующая способность пород.

Для радия и его изотопов, специфический их режим в подземных водах может быть еще более сложным. Основываясь на вышеприведенных выводах Е. С. Шепотьевой (39) можно прийти к заключению, что концентрация этих элементов в воде может увеличиваться или уменьшаться, при увеличении дебита источника, в зависимости от длины пути, на котором происходит выщелачивание радия. Далее, на процессы выщелачивания или выпадения радия, может сильно влиять температура и химический состав воды. Наконец, для радиоактивных элементов с небольшим периодом распада (торий X и другие) необходимо принимать во внимание их распад при движении воды по породам.

Концентрация различных радиоактивных элементов сильно зависит от условий непосредственного выхода подземных вод на дневную поверхность.

¹ Весьма интересен тот факт, что прямая зависимость содержания тория x от хлора не проходит через начало координат, а пересекает ось абсцисс при хлоре, равном 70 мг/л. Это явление связано с тем, что основная струя хлоридно-натриевой воды, несущая с собой торий x до смешения с пресными водами, прошла довольно большой путь, в течение значительного промежутка времени, порядка 30 часов, в результате чего некоторая часть тория x успела распасться.

Так, если вода при своем выходе падает с некоторой высоты, или течет беспокойной струей, то она очень часто полностью деэмануруется. Особенно сильно проявляется такое деэмануирование для горячих вод. Так, например, некоторые высоко-термальные источники Ходжа-Оби-Гарм (в Таджикистане) выходят по мелким трещинам из гранитной скалы и, несмотря на то, что вода стекает тонкой, совершенно спокойной, струей по поверхности скалы, она на протяжении уже 10 — 20 см теряет больше половины растворенного в ней радона.

Иногда наблюдаются и обратные явления. Так, по наблюдениям Ф. Behounck'a (41), в радиевом руднике в Иохимстале некоторые неактивные воды приобретают радиоактивность от поглощения радона из воздуха штолен. Содержание других радиоэлементов также может зависеть от условий непосредственного выхода подземных вод. Различные процессы выпадения осадков, оседание мути из воды, адсорбция радиоактивных элементов в самом источнике, все это может сильно сказаться на концентрации радия и других радиоактивных элементов в естественных водах.

§ 5. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА В ВОДАХ

Техника измерения радона в водах заключается в следующем: из набранного для анализа в специальный сосуд некоторого объема воды, путем интенсивного взбалтывания выделяется радон, который затем, тем или другим способом, переводится в ионизационную камеру. Затем камера присоединяется к электрометру¹ и в ней определяется ионизационный ток. Этот ток сравнивается с током, вызванным известным количеством радона при эталонировании прибора и по пропорции находят количество радона в воде.

Измерение ионизационного тока можно производить сразу после введения радона в камеру (по начальному току), но лучше эти измерения вести через 3 часа. При измерении по начальному току приходится учитывать постепенное нарастание силы тока, в связи с образованием в камере продуктов распада радона (RaA, RaB и RaC).

Максимум ионизационный ток в камере достигает приблизительно через 3 часа, когда наступает равновесие между радоном и его продуктами распада, после чего начинается постепенное уменьшение радона, связанное с его распадом.

Практически в интервале времени от 3 до 5 часов после введения радона в камеру, сила ионизационного тока в ней не меняется, поэтому все измерения в этом интервале будут одинаковы и не нуждаются во введении поправок.

Перед всяким измерением радона должно быть определено натуральное рассеяние прибора, т. е. тот ток, который вызван неиз-

¹ Подробное описание универсального прибора и ухода за ним дано в инструкции проф. В. Н. Баранова „универсальный прибор и его применение для определения радиоактивности пород, вод и газов.“

бежными потерями через изоляторы и слабой ионизации воздуха в камере за счет следов радиоактивных элементов, оставшихся на ее стенках. Это натуральное рассеяние прибора вычитается из измеренного ионизационного тока и таким образом получается ток обусловленный только ионизацией от введенного в камеру радона.

Способы перевода радона в камеру бывают разные. В настоящее время пользуются тремя методами такого перевода:

1. Циркуляционный метод с применением резиновой груши.
2. Циркуляционный метод при помощи сообщающихся сосудов.
3. Вакуумный метод.

1. Циркуляционный метод с применением резиновой груши заключается в том, что исследуемая вода набирается в стеклянную бутылку, герметично закрывается, трясется и включается в замкнутую систему, состоящую из ионизационной камеры, хлоркальциевой трубки и резиновой груши.

Активный воздух из бутылки равномерно распределяется по всей системе, благодаря продуванию его резиновой грушей.

Весь этот процесс продолжается в течение 10 минут, после чего ионизационная камера изолируется и в ней определяется ионизационный ток.

2. Циркуляционный метод при помощи сообщающихся сосудов. Резиновая груша здесь заменена двумя сообщающимися сосудами, в которые наливается исследуемая вода и трясется в течение 3-х минут, затем приключается к ионизационной камере. Активный воздух распределяется по всей системе равномерно, вследствие переливания воды из одного сосуда в другой, путем поочередного поднятия сосудов. Полное перемешивание воздуха достигается после пяти переливаний, затем камера отключается и в ней измеряется ионизационный ток.

3. Вакуумный метод¹ состоит в том, что исследуемая вода путем засасывания вводится в промывалку и встряхивается. Затем промывалка присоединяется к откаченной ионизационной камере и в нее засасывается воздух из промывалки. После этого в промывалку впускается чистый воздух и опять переводится в камеру. Такое поочередное переведение воздуха в промывалку и из нее в камеру повторяется 6 раз. В камере выравнивается воздух до атмосферного давления и в ней определяют ионизационный ток.

§ 6. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПЕРЕВОДА РАДОНА В ИОНИЗАЦИОННЫЕ КАМЕРЫ

1. Циркуляционный метод с применением резиновой груши имеет широкое применение в районных лабораториях. Однако, работа с

¹ Вакуумный метод перевода радона был первоначально разработан для ионизационных камер большого объема, для чувствительных приборов (Шелотьева 36). Однако, с успехом можно применить и при работе с универсальным прибором, но только для сильно активных вод, поскольку чувствительность этого метода при работе с универсальным прибором не велика — порядка 10 эман.

резиновой грушей часто приводит к ошибкам в определениях, благодаря ряду ее недостатков:

а) Резиновая груша может дать незаметную для глаза трещину, через которую начинает просачиваться исследуемый радон, и такая систематическая утечка может оставаться довольно долго незамеченной.

б) Способность резиновой груши поглощать радон, а затем медленно его выделять, может привести к ряду ошибок при определении нескольких проб различной активности, одной и той же грушей.

в) Различные величины объема груш, ее упругости и силы сжатия, которую применяет наблюдатель при циркуляции воздуха в системе, все это отражается на равномерном распределении радона и поэтому трудно бывает установить, сколько времени необходимо производить циркуляцию воздуха, чтобы получить действительно равномерное распределение радона в системе.

г) Резиновая груша совсем не применима при определении радиоактивности газированных вод, так как выделяющийся из воды при взбалтывании растворенный газ раздувает грушу и не дает возможности с ней работать.

2. Циркуляционный метод при помощи сообщающихся сосудов имеет преимущество перед резиновой грушей. Здесь устранены все недостатки, связанные с грушей и при отборе исследуемой воды из открытых водоемов, очень удобно бутылку с тубусом постепенно опускать в воду до нужного уровня, погрузив конец резиновой трубки тубуса в коренную струю, если она намечена. Широкий диаметр резиновой трубки дает возможность воде спокойно поступать в бутылку, что является необходимым условием при наборе пробы.

Недостатком этого метода является то, что:

а) В районах трудно бывает подобрать две совершенно одинаковые бутылки с тубусом нужного объема, т. к. слишком большие или малые объемы изменяют соотношение между концентрацией радона в ионизационной камере и в бутылках и полное перемешивание воздуха во всей системе не наступает.

б) Наличие довольно большого количества соединительных резиновых трубок вызывает ошибки за счет поглощения радона резиной.

в) Необходимость при исследовании брать довольно значительные объемы воды (1 л — 1,5 л) затрудняет ее взбалтывание для полного извлечения радона.

г) Необходимость вводить поправки на распределение радона между водой и воздухом, когда объем воды или ее температуры при исследовании отличаются от таковых при эталонировании системы.

3. Вакуумный метод можно считать наиболее совершенным методом из вышеперечисленных.

Основным его преимуществом является: а) Радон практически

весь переводится из воды в ионизационную камеру, что устраняет необходимость вводить поправку за распределение.

б) Устранена громоздкость системы, которая наблюдается при циркуляционных методах.

в) Быстрота перевода радона в камеру.

г) Неисправности системы и утечка из нее радона сейчас же обнаруживается, так как система находится под вакуумом.

Недостатки вакуумного метода следующие:

а) Малая чувствительность, в применении его к универсальным приборам, поскольку приходится исходить из малого объема воды в промывалке (100 мл).

б) Невозможность набора проб вакуумным путем из колодцев или буровых скважин, когда воду необходимо затягивать по длинному шлангу (см. ниже).

в) Недостаточно полное выделение радона, когда вакуумный метод с обычными камерами малого объема применяется для газированных вод, так как выделившийся газ из воды сразу повышает давление в камере.

Часть II

СПЕЦИАЛЬНАЯ

§ 7. ОБОРУДОВАНИЕ ПОЛЕВОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Рациональное устройство лаборатории облегчает выполнение измерений и для этого оно должно отвечать следующим условиям:

1. Помещение для лаборатории должно быть светлое и сухое. Если нет комнаты, то устраивают ее в палатке, сарайчике и т. п.

2. В лаборатории ставится устойчивый стол для приборов, если нет стола, то устанавливается тяжелый ящик.

3. Приборы защищаются от солнца навесом, зонтом и т. п.

В помещении лаборатории запрещается:

а) хранение радиоактивных препаратов и большого количества проб.

б) Хранение кислот.

в) Курение табака и зажигание огня.

г) Проведение других видов работ, например химических анализов и т. п., выделяющих газы, которые влекут за собой образование тяжелых ионов.

4. Перед производством радиометрических работ собирается вся аппаратура (см. приложение V) и производится проверка всего прибора.

5. Всякое определение радона в водах сводится к следующим операциям:

а) Набору пробы воды в специальный сосуд.

б) Выделению радона из воды и переводению его в ионизационную камеру.

в) Определению натурального рассеяния прибора.

г) Измерению ионизационного тока.

д) Вычислению результатов измерений.

6. Перед производством измерений приборы должны быть эталонированы по растворам с известным содержанием радия.

7. Все измерения концентрации радона в воде должны производиться как минимум с двумя параллельными определениями лучше всего на двух разных приборах. Из результатов берется среднее, при условии, если они отличаются друг от друга не больше чем на 5%.

§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАТУРАЛЬНОГО РАССЕЯНИЯ

1. При всех измерениях радона в водах или газах, а также при эталонировании приборов, необходимо учитывать натуральное рассеяние прибора.

2. Натуральное рассеяние происходит, во-первых, от недостаточно совершенной изоляции прибора и, во-вторых, из-за того, что воздух всегда несколько ионизирован, вследствие различных проникающих излучений и за счет следов радиоактивных элементов, оставшихся на стенках измерительных камер.

3. Натуральное рассеяние должно определяться для каждой ионизационной камеры отдельно непосредственно перед введением в нее радона.

4. Вследствие неравномерности шкалы электрометра, а также потому, что емкость его меняется, в зависимости от положения листочка, все измерения натурального рассеяния и всех определяемых проб должны производиться в одном интервале шкалы между теми же ее делениями.

5. Скорость спадания листочка при натуральном рассеянии, а также при всех измерениях радона, производится следующим образом:

а) Электрометр несколько самозаряжается.

б) Выждав некоторый промежуток времени (в случае определения натурального рассеяния не меньше чем полчаса) пока листок (нить) дойдет до деления шкалы, от которого обычно производятся отсчеты (до рабочего интервала шкалы), в момент, когда изображение нити коснется какого нибудь деления, пускают секундомер и останавливают его, когда она дойдет до одного из следующих делений. Разделив число делений на время, в течение которого листок их прошел, получают скорость спадания листка в делениях в минуту.

Таких отсчетов делают несколько и из результатов берут среднее.

Запись наблюдений ведется по следующей форме:

Деление шкалы		Время (отсчета по секундомеру)	Натуральное рассеяние (дел./мин.)	Среднее натурального рассеяния
от	до			

6. Натуральное рассеяние должно быть небольшое 10—15% от измеряемой величины при малых концентрациях радона и, кроме того, колебания его должны быть не больше 10%.

Способы уменьшения натурального рассеяния, а также устранения других неисправностей в приборе, подробно описаны в инструкции проф. В. И. Баранова «Универсальный прибор и его применение для определения радиоактивности пород, вод и газов».

§ 9. ВЫДЕЛЕНИЕ РАДОНА ИЗ ВОДЫ И ПЕРЕВЕДЕНИЕ ЕГО В ИОНИЗАЦИОННУЮ КАМЕРУ

А. Циркуляционный метод с применением резиновой груши

а. Необходимая аппаратура и оборудование:

1. Электрометр — 1
2. Ионизационная камера — 1 комплект
3. Секундомер — 1
4. Часы — 1
5. Резиновая груша — 1

6. Стеклоянная бутылка емкостью 1,0—1,2 л плотно закрывающаяся резиновой пробкой, через которую проходят две стеклянные трубки, одна доходящая до дна, а другая короткая. На бутылке делается отметка объема воды, соответствующая половинному объему бутылки — 1—2.

7. Хлор-кальциевая трубка — 1
8. Мерный цилиндр — 1

б. Переведение радона из воды в ионизационную камеру:

1. Исследуемая вода набирается в стеклянную бутылку, (так, чтобы количество ее соответствовало половинному объему бутылки), закрывается плотно резиновой пробкой со стеклянными трубками, на концах которых надеты резиновые трубки с закрытыми зажимами.

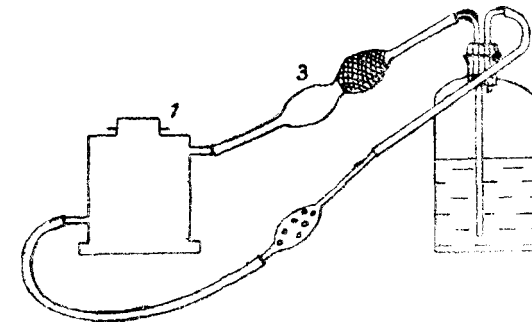


Рис. 3.

2. Бутылку встряхивают в течение трех минут.

3. Присоединяют бутылку к системе, состоящей из ионизационной камеры 1, хлор-кальциевой трубки и резиновой груши 3 (см. рис. 3) в следующей последовательности: к короткой стеклянной трубке бутылки присоединяется хлор-кальциевая трубка, другим концом присоединяющаяся к ионизационной камере, ко второму крану камеры присоединяют резиновую грушу, которой замыкают цепь, приключая ее к длинной стеклянной трубке бутылки.

4. Открывают зажимы на бутылки и продувают воздух через всю систему, равномерно нажимая на грушу в течение трех минут.
5. Закрывают зажимы на бутылки и, не отключая бутылку от системы, встряхивают ее в течение 1 минуты.
6. Открывают зажимы на бутылки и продувают воздух через всю систему в течение пяти минут.
7. Записывают время окончания продувания камеры.
8. Закрывают краны или зажимы на ионизационной камере и отключают ее от всей системы.
9. Измеряют точно объем исследуемой воды в бутылки мерным цилиндром.
10. Измеряют ионизационный ток в камере через 1—3 часа после окончания продувания камеры.

Б. Циркуляционный метод при помощи сообщающихся сосудов

а. Необходимая аппаратура и оборудование.

1. Электрометр — 1
2. Ионизационная камера — 3
3. Секундомер — 1
4. Часы — 1
5. Две одинаковые стеклянные бутылки с тубусами у дна (склянки Вульфа) емкостью 1,5—2 л каждая. На тубусы наде-

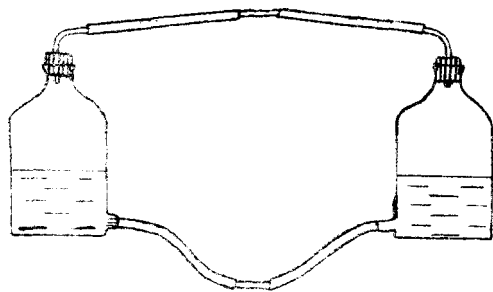


Рис. 4.

ты резиновые трубки по возможности широкого диаметра, длиной 40—50 см, между собой соединенные стеклянной трубкой. Верхние отверстия плотно закрыты резиновыми пробками, со вставленными стеклянными трубками. На бутылках делаются отметки объема воды в 1 л или 1,5 л, в зависимости от объема бутылки.

6. Две хлор-кальциевые трубки
7. Мерный цилиндр.
- б. Переведение радона из воды в ионизационную камеру:
 1. Исследуемая вода набирается в одну из стеклянных бутылей.
 2. После набора стеклянная бутылка соединяется с другой бу-

тылью при помощи резиновых трубок тубусов. Верхние резиновые трубки соединяются между собой, зажимы снимаются и выравнивается уровень воды в обеих бутылках (см. рис. 4).

3. Бутылки ставятся на колени и сильно встряхиваются в течение трех минут.
4. Верхние резиновые трубки зажимаются зажимами около их соединения и разъединяются.
5. Присоединяют их к ионизационной камере, включая на пути хлор-кальциевые трубки.
6. Открывают все зажимы и краны.
7. Производят циркуляцию воздуха, переливая поочередно из одной бутылки в другую через нижнюю трубку при помощи поднятия бутылей (см. рис. 5). Производят пять переливаний.

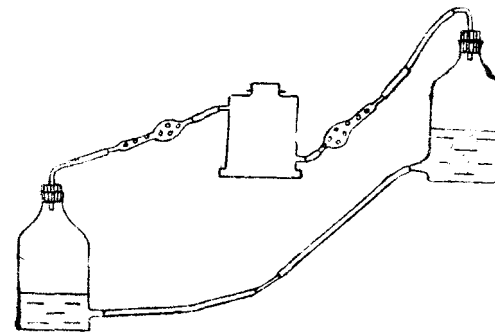


Рис. 5.

8. В бутылках выравнивается уровень воды.
9. Закрывают краны или зажимы на ионизационной камере и отключают ее от системы.
10. Записывают время окончания переливания воды.
11. Измеряют точно объем исследуемой воды в бутылках мерным цилиндром.
12. Измеряют ионизационный ток через три часа после окончания переливания воды.

В. Вакуумный метод

а. Необходимая аппаратура и оборудование

1. Электрометр — 1
2. Ионизационная камера — 1 комплект
3. Секундомер — 1
4. Часы — 1
5. Промывалка — металлический сосуд емкостью 200 мм³ или толстостенная стеклянная бутылка емкостью 200—250 мм³ с плотно закрывающейся резиновой пробкой, через которую проходят две стеклянные трубки, одна доходящая до дна, а другая короткая.
6. Хлор-кальциевая трубка — 1

7. Мерный цилиндр — 1
8. Насос Комовского или видоизмененный насос Шинца — 1.
- б. Переведение радона из воды в ионизационную камеру:
 1. В ионизационной камере создается вакуум при помощи насоса.
 2. В промывалке также создается вакуум (см. набор воды в промывалку).
 3. Исследуемая вода засасывается в промывалку в количестве 100 мл.
 4. Промывалка встряхивается 0,5 минуты.
 5. К ионизационной камере присоединяют промывалку, между ними включают хлор-кальциевую трубку (см. рис. 6).

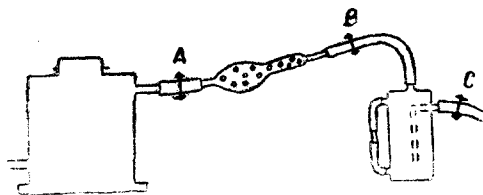


Рис. 6.

6. Открывают зажимы на ионизационной камере А и на промывалке В, в камеру затягивается воздух из промывалки.
7. Зажимы А и В закрывают, а открывают другой зажим С на промывалке для впуска чистого воздуха.
8. Зажим С закрывают и промывалку встряхивают 0,5 минуты.
9. Открывают зажимы А и В и затягивают воздух в ионизационную камеру.
10. Процесс затягивания воздуха в ионизационную камеру, выпуск чистого воздуха, встряхивание промывалки повторяют 6 раз.
11. В ионизационной камере выравнивается давление до атмосферного, путем пропускания чистого воздуха через промывалку в камеру.
12. Записывают время окончания продувания воздуха.
13. Измеряют ионизационный ток в камере через 1—3 часа после продувания воздуха.

§ 10. ЭТАЛОНИРОВАНИЕ ПРИБОРОВ

Для того, чтобы по скорости спадания нити электрометра можно было определить содержание в исследуемой воде радона, прибор должен быть эталонирован в условиях аналогичных определению исследуемой воды.

1. Эталонируется вся система, которой пользуются для перевода и измерения радона.
2. Эталонирование должно производиться заново при всякой

замене: листочка, электрометра, стеклянной бутылки, резиновой груши и т. п.

3. Всякое эталонирование должно производиться не меньше трех раз. Если результаты отличаются не больше чем на 5%, из них берется среднее, при большем расхождении, эталонирование повторяется.

4. Если исследуемая вода слабо минерализована, то при эталонировании пользуются: дистиллированной водой, водопроводной, домдевой, снеговой или речной, предварительно проверив ее на отсутствие радона.

5. Если исследуемая вода сильно минерализована, то эталонирование желательнее провести с аналогичной по химическому составу, но неактивной водой.

6. Если исследуются термальные источники, то эталонирование производится с водой, нагретой до T° данного источника.

7. Если исследуются сильно газированные воды, то при эталонировании в расчеты вводится поправка, вследствие особых условий, возникающих в процессе выделения газа (см. §9 и 19).

8. Для эталонирования приборов пользуются жидкими эталонами, содержащими раствор радия, в количестве 10^{-8} или 10^{-9} г Ra.

Примечание: эталоны готовятся Радиевым институтом в ампулах. Для работы они переводятся в барботеры, которые предварительно обрабатываются следующим способом: чисто вымытый барботер заполняется раствором, приготовленным из 5% HCl + 2% BaCl₂ и кипятится на водяной бане в течение трех часов, после чего раствор выливается и он промывается дистиллированной водой. У ампулы с эталоном радия надпиливают утолщенный конец и отламывают его, предварительно выгнав из него капли раствора постукиванием пальца. Опрокидывают ампулу в воронку, вставленную в барботер и надламывают другой конец ампулы. Раствор радия переливается в барботер и ампула промывается дистиллированной водой так, чтобы барботер был заполнен не более чем на половину. Во время переливания необходимо следить за тем, чтобы не было потери раствора радия.

9. Переведенный в барботер эталон продувается в течение 15 мин. для удаления радона и запаивается. На эталон надевается этикетка с указанием времени запайки (месяц, число, час, минута).

А. Эталонирование системы для циркуляционного метода с применением резиновой груши

1. Для эталонирования система собирается в той же последовательности, как для перевода радона из воды в ионизационную камеру, только между грушей и стеклянной бутылкой включается барботер с жидким эталоном радия (см. рис. 7).

а) Бутыль до половины наполнена неактивной водой.

б) У барботера надпилены концы его стеклянных трубок.

Когда система вся собрана, то:

2. Открывают краны или зажимы на камере,
3. Осторожно отламывают под резиновыми трубками концы трубок барботера,
4. Продувают в течение шести минут воздух через всю систему слабой струей (в количестве 80—100 пузырей в минуту).

5. Закрывают зажимы на бутылки и встряхивают ее в течение трех минут.

6. Открывают зажимы на бутылки и продувают воздух через всю систему в течение шести минут.

7. Закрывают краны или зажимы на ионизационной камере и отключают ее от всей системы.

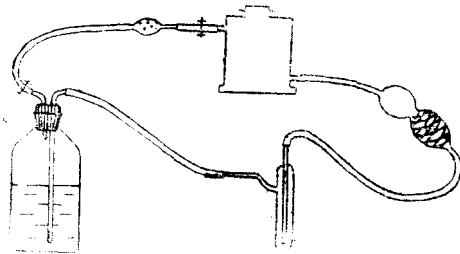


Рис. 7.

8. Записывают время окончания продувания.

9. Измеряют ионизационный ток через 3 часа.

Б. Эталонирование системы для циркуляционного метода при помощи сообщающихся сосудов

1. В одну из бутылей наливается неактивная вода (количество воды берется столько, сколько при исследовании воды на радиоактивность — 1 или 1,5 л).

2. Бутыль закрывается пробкой с зажатом на резиновой трубке зажимом.

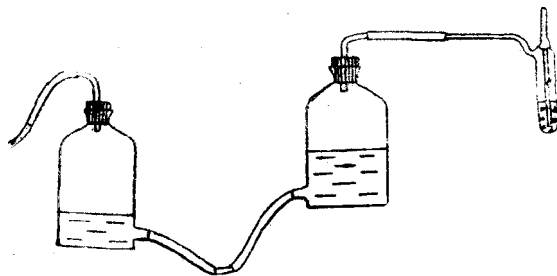


Рис. 8.

3. Бутыль соединяется с другой пустой бутылкой посредством тубусных резинок (верхняя трубка пустой бутылки остается открытой).

4. Свободная бутыль ставится на более низкий уровень по отношению к наполненной.

5. Слегка приоткрывают на тубусной трубке зажим, чтобы создать некоторое разрежение в верхней части наполненной бутылки.

6. К верхней трубке наполненной бутылки присоединяют барботер с эталоном радия (концы стеклянных трубок барботера предварительно надпиливают).

7. Приоткрывают зажим на верхней трубке наполненной бутылки, создавая таким образом разрежение по всей ее длине.

8. Надламывают вначале надпиленный конец барботера в резиновой трубке, а затем другой ее конец.

9. Вода из верхней бутылки начинает переливаться в нижнюю, вследствие разности давлений и благодаря этому происходит засасывание внешнего воздуха в верхнюю бутылку через раствор эталона, которое должно продолжаться 10—15 минут (см. рис. 8).

10. Когда в верхней бутылки уровень воды понизится почти до тубуса, на резиновой трубке, к которой присоединен барботер, зажимается зажим и барботер отсоединяется.

11. Верхние трубки бутылей соединяются, зажимы открываются.

12. Бутылки ставятся на один горизонт и выравнивается уровень воды.

13. Бутылки ставятся на колени и сильно встряхиваются в течение трех минут.

14. Верхние резиновые трубки зажимаются зажимами около их соединений и разъединяются.

15. Свободные концы резиновых трубок бутылей присоединяют к ионизационной камере, включая на пути хлор-кальциевые трубки.

16. Открывают все зажимы.

17. Производят циркуляцию воздуха, переливая воду поочередно из одной бутылки в другую, через нижнюю трубку при помощи поднятия бутылей. Таких переливаний производят пять.

18. В бутылках выравнивают уровень воды.

19. Закрывают краны на ионизационной камере и отключают ее от системы.

20. Записывают время окончания переливания воды.

21. Измеряют ионизационный ток в камере через три часа после окончания переливания воды.

В. Эталонирование системы для вакуумного метода

1. В ионизационной камере создают вакуум при помощи насоса.

2. Присоединяют к камере хлоркальциевую трубку и барботер с эталоном радия (концы стеклянных трубок барботера предварительно надпиливают) (см. рис. 9).

3. Надламывают конец стеклянной трубки барботера, находящийся в резиновой трубке.

4. Слегка приоткрывают зажим на камере А и в камеру затягивается воздух из барботера.

5. Зажимают зажим В.

6. На свободный стеклянный конец барботера надевается резиновая трубка с зажимом С, стеклянный конец в резиновой трубке надламывается.

7. Приоткрывают зажим *C*, вследствие чего барботер заполняется чистым воздухом.

8. Постепенно открывается зажим *B* и в камеру из барботера засасывают воздух с тем расчетом, чтобы в барботере проходило около 80—100 пузырьков в минуту.

9. Процесс затягивания воздуха в камеру продолжается до выравнивания в камере давления с атмосферным, т. е. до прекращения прохождения пузырьков в барботере.

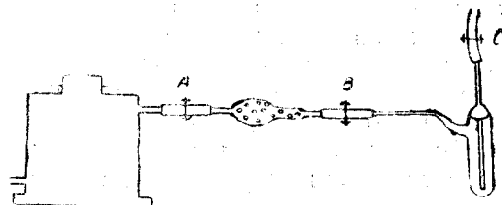


Рис. 9.

10. Закрывается зажим *A* на камере.

11. Записывают время окончания продувания воздуха.

12. Измеряют ионизационный ток в камере через 1—3 часа после заполнения камеры воздухом через барботер с эталоном.

§ 11. ВЫЧИСЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Исходной величиной для вычислений концентрации радона в водах является постоянная эталонирования прибора *j*.

Эта величина находится по формуле:

$$j = \frac{a(1 - e^{-\lambda t})}{n_2 - n_1} \quad \frac{\text{кюри}}{\text{дел. мин.}} \quad [1]$$

где *a* — содержание радия в эталоне в г,

t — время накопления (время, протекшее с момента запайки эталона до момента перевода радона в прибор, при эталонировании).

n_2 — скорость спадания листочка в $\frac{\text{дел.}}{\text{мин.}}$ при промере эталона

n_1 — тоже " " в $\frac{\text{дел.}}{\text{мин.}}$ при определении натурального рассеяния.

Величина, стоящая в скобках в правой части равенства, берется из приложения 1.

При эталонировании записывается объем взятой воды и ее температура t° .

2. Концентрация радона в исследуемой воде *A* находится по формуле:

$$A = j \frac{n_2' - n_1'}{V_2} \quad \frac{\text{кюри}}{\text{литр}} \quad [2]$$

где n_2' — скорость спадания листочка при промере активности воды,

n_1' — тоже при определении натурального рассеяния,

V_2 — объем взятой для исследования воды.

3. По приведенной формуле [2] можно вычислять, когда объем взятой для исследования воды и ее температура не отличаются от объема и температуры воды, употребляемой для эталонирования, т. е. если:

$$V_1 = V_2 \text{ и } t_1^\circ = t_2^\circ$$

В противном случае (при сильно газированных водах) необходимо вводить поправку и вычисления вести по формуле:

$$A = j \frac{n_2' - n_1'}{V_2} \cdot \frac{\eta_1 (V_2 + \eta_2 W_0)}{\eta_2 (V_1 + \eta_1 W_1)}$$

где η_1 — коэффициент распределения радона при t° , для воды при эталонировании,

η_2 — тоже при t_2° для исследуемой воды, (η_1 и η_2 берутся из таблицы 3),

W_1 — объем воздуха в бутылки над водой при эталонировании,

W_2 — тоже при определении радиоактивности исследуемой воды.

Примечание: в случае, если измерения производятся циркуляционным методом с сообщающимися сосудами, принимается объем воздуха в двух бутылках над водой. При измерениях циркуляционным методом с резиновой грушей, за объемы воздуха надо брать суммарные его объемы в бутылки, резиновой груше, соединительных трубках и ионизационной камере.

4. Поправок на распределение радона между водой и воздухом при определении вакуумным методом вводить не надо, поскольку при этом методе радон полностью извлекается из воды и переводится в ионизационную камеру.

5. При методе с сообщающимися сосудами введение поправок на распределение можно избежать следующим путем: проба исследуемой воды набирается в одну бутылку, на которой нанесены деления, позволяющие определить объем взятой воды. После этого в другую бутылку наливается неактивная вода (лучше всего свежая прокипяченная) в количестве точно дополняющем объем взятой воды до стандарта объема, при котором производилось эталонирование системы. Далее, соединив шланги от нижних тубусов и верхние резиновые трубки, между собой, несколько раз с поочередным поднятием бутылей, перемешивают воду в них, после чего трясут бутылки как указано в § 9.

§ 12. НАБОР ПРОБ ВОДЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДОНА

Общие указания

Набор проб воды является одной из наиболее ответственных задач при определении радона.

1. При взятии проб надо соблюдать все меры предосторожности, чтобы не было потери радона от соприкосновения воды с воз-

духом и набранная проба воды¹ точно отражала бы истинное содержание радона в воде.

2. Все пробы, набираемые из одного источника, для систематических режимных наблюдений, должны набираться одним методом для получения вполне сравнимых между собой результатов.

3. Все пробы должны набираться по возможности ближе к месту непосредственного выхода источника на дневную поверхность.

1. Набор проб из накопленного, не газового источника, выходящего в виде небольшого водоема

1. Если источник не засорен и дебит его значителен так, что вода в нем проточная, к набору можно приступить сразу.

2. При незначительном дебите и засоренности источника его нужно отчерпать, очистить и выждать, пока весь водоем опять наполнится водой, и только после этого приступить к набору воды.

3. Набор пробы необходимо производить по возможности со дна водоема из самих выходящих грифонов.

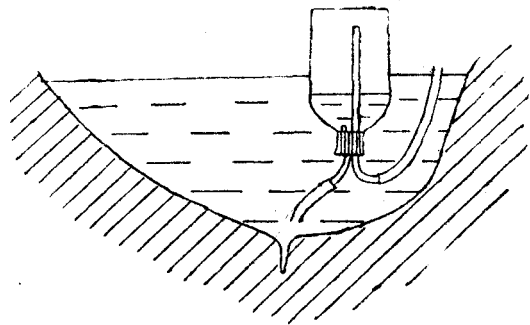


Рис. 10.

4. При наборе в бутылку, предназначенную для циркуляционного метода с резиновой грушей, поступают следующим образом:

а) на обе стеклянные трубки, выходящие из пробки бутылки, надевают резиновые трубки;

б) бутылку переворачивается вверх дном;

в) резиновая трубка, надетая на короткое колено, опускается на дно водоема, по возможности к самому грифону и там удерживается;

г) резиновая трубка от длинного колена сообщается с атмосферой;

¹ Дать общую методику набора проб крайне трудно, поскольку условия выходов источников бывают весьма разнообразны и, следовательно, каждый раз приходится приспособляться к ним и выискивать наиболее совершенные способы взятия проб. Поэтому мы ограничимся описанием только некоторых наиболее типичных случаев набора.

д) бутылку медленно погружают в водоем, дном вверх (см. рис. 10);

е) набрав нужный объем, резиновые трубки зажимаются по возможности ближе к бутылке, бутылку осторожно вынимают и далее поступают согласно § 10.

5. Набор в тубусные бутылки, предназначенные для циркуляционного метода, при помощи сообщающихся сосудов:

а) одну из бутылей с тубусами медленно погружают в водоем до отметки на бутылке, направляя резиновую трубку от тубуса к месту выхода коренной струи;

б) верхняя резиновая трубка сообщается с атмосферой (см. рис. 11);

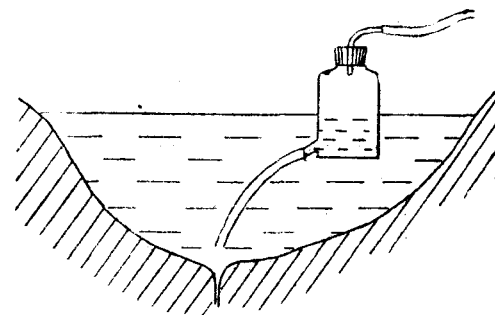


Рис. 11.

в) согнув резиновую трубку тубуса пополам и крепко сжав ее, вынимают бутылку из водоема и соединяют ее с другой бутылкой.

6. Набор в промывалку при вакуумном методе.

а) промывалка откачивается насосом;

б) обе резиновые трубки промывалки зажимаются зажимами;

в) один конец трубки от длинного конца промывалки погружается в водоем, по возможности ближе к месту непосредственного выхода воды;

г) постепенно открывая зажим на опущенном в воду конце трубки, засасывают в промывалку нужный объем воды;

д) зажимают зажимы и вынимают трубку из воды, далее поступают как указано в § 9.

II. Набор проб негазовых вод из колодца

1. В случае, если столб воды в колодце небольшой, колодец отчерпывается, после чего выжидается пока уровень восстановится, а затем производят набор проб.

2. При значительном притоке воды к колодцу, или при большом столбе воды в нем, перед набором из колодца достаточно отчерпывать 30—50 ведер, после чего выжидают восстановление уровня воды и производят набор проб.

3. Набор воды для исследований надо производить по возможности со дна колодца.

4. При неглубоких колодцах, когда до воды можно достать рукой или опустить бутылку, привязав ее на шест, набор производится так же, как из водоема.

5. Кроме того, если глубина колодца до воды не превышает 6 м, набор при циркуляционном методе с сообщающимися сосудами, рационально производить в откаченные бутылки.

Такой набор производят следующим образом:

б) бутылки соединяются верхними резиновыми трубками;

б) нижняя тубусная резиновая трубка на одной бутылке плотно зажимается зажимом, от второй бутылки присоединяется к насосу, при помощи резиновой трубки;

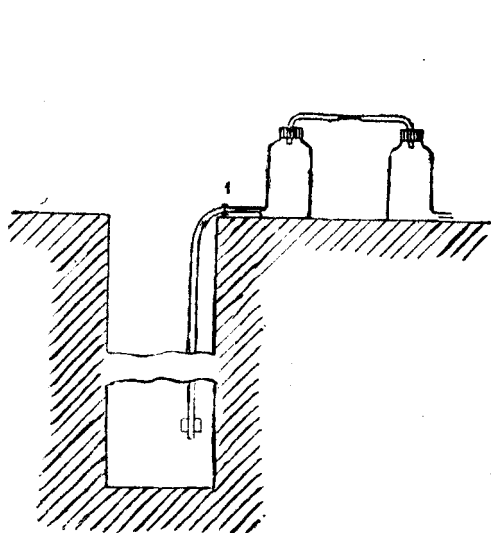


Рис. 12.

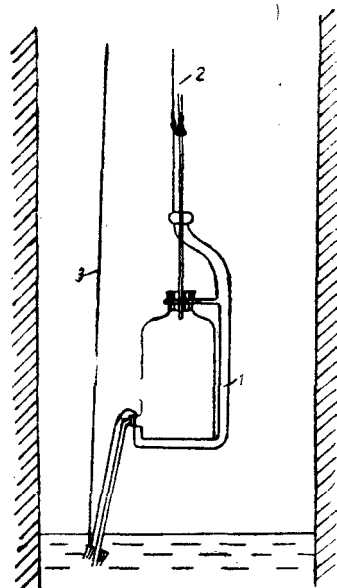


Рис. 13.

в) обе бутылки вместе откачиваются;

г) шланг около насоса зажимается зажимом и насос отсоединяют;

д) в колодец опускают длинный резиновый шланг с тяжестью на конце. Этот шланг должен быть из толстостенной резины с внутренним диаметром 5—8 мм.

е) резиновый шланг соединяется через переходник с одной из тубусных трубок бутылей;

ж) открывая постепенно зажим 1 (см. рис. 12), засасывают в бутылку нужный объем воды;

з) зажим завинчивают и отсоединяют резиновый шланг;

и) тубусные резиновые трубки бутылей соединяют между собой, зажим снимают, выравнивают уровень воды в бутылках.

6. Набрать пробу из колодца в откаченную промывалку для вакуумного метода, по длинному шлангу нельзя, поскольку объем промывалки оказывается недостаточным. Для этого метода набирают пробу в тубусную бутылку, как описано в пункте 4, а из нее засасывают в откаченную промывалку.

Примечание: засасывать воду в откаченную бутылку для промывалки нельзя, так как происходит потеря радона за счет выделения его в бутылку.

7. При глубоких колодцах набор проб может быть произведен следующим образом:

а) бутылку с тубусом устанавливается на тяжелый металлический штатив 1 и плотно к нему привязывается (см. рис. 13);

б) штатив привязывается к прочной бичевке 2;

в) к резиновой тубусной трубке бутылки привязывается тяжесть и тонкая бичевка 3;

г) резиновая трубка от пробки бутылки направляется вверх и привязывается к бичеве, на которой опускается штатив;

д) вся система медленно опускается в колодец и погружается в воду;

е) потянув за тонкую бичевку 3, приподнимают резиновую тубусную трубку бутылки, после чего вытаскивают всю систему, придерживая тонкую бичевку;

ж) осторожно, через резиновую тубусную трубку, сливают избыток воды, затем присоединяют его ко второй тубусной бутылке и далее поступают согласно § 10.

III. Набор проб из незначительных родников, слабо сочащихся из трещин в крутом откосе или из стенок горных выработок

1. При наборе воды из таких выходов необходимо соблюдать особую осторожность, чтобы получить содержание радона, действительно отвечающее его концентрации в подземных водах.

2. Наиболее правильным будет перед набором воды несколько каптировать выходы подземных вод. Каптаж можно хорошо осуществлять следующим методом¹ (рис. 14):

а) в стенку горной выработки, или в откос, из которого сочится вода, бурятся короткие шпурсы ($d = 0,5—1,5$ м). Шпурсы направляются по возможности вкрест простирания тех трещинок, из которых сочится вода;

б) в шпурсы вставляются куски металлических трубок 1, устья скважин вокруг трубок плотно заделываются глиной (2) или цементом. Вставленные в шпурсы (скважины) куски труб могут быть на конце снабжены перфорацией;

в) если вода начинает вытекать из вставленной трубки, не полностью заполняя ее сечение, то поступают следующим образом: выступающий на поверхность конец трубки плотно заделывается пробкой, а для выхода воды с верхней стороны трубки просверливается отверстие.

¹ Этот способ каптажа был предложен А. Н. Огильви.

3. Набор проб из каптированного таким образом источника производится или затягиванием воды в откаченную промывалку или в откаченную стеклянную бутылку для циркуляционного метода. Можно набирать пробу осторожно наполняя бутылку через нижнюю тубусную трубку при помощи сифона (см. рис. 15).

4. При всех наборах проб, согласно предыдущего пункта, надо строго следить за тем, чтобы вода поступала в бутылку или промывалку медленно, чтобы случайно не затянуть с ней воздух, который в горных выработках может иметь повышенную радиоактивность.

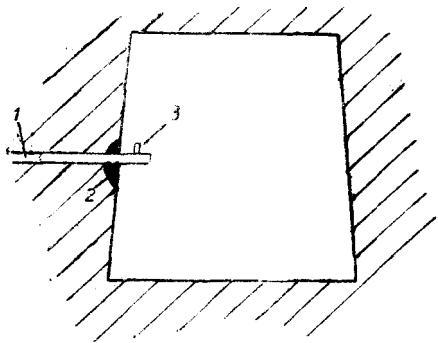


Рис. 14.

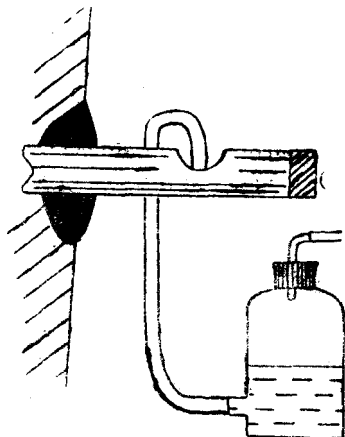


Рис. 15.

Затягивание воздуха особенно легко может произойти когда дебит воды вытекающей из отверстия 3 незначителен.

5. При работе в горных выработках, в которых воздух может иметь повышенную активность, надо соблюдать особые предосторожности. А именно, все бутылки, промывалки, хлор-кальциевые трубки, камеры и т. п. должны быть плотно закрыты зажимами. Далее совершенно недопустимо выливание избытка набранной воды из бутылки, так как оно может повлечь засасывание в бутылку активного воздуха.

IV. Набор проб не газовых вод, самоизливающихся из скважины

1. При наборе пробы из самоизливающейся скважины необходимо обращать внимание, как выходит вода из трубы — полностью заполняет сечение трубы или нет.

2. Если вода выходит из скважины слабо переливаясь через верх трубы, то набор проб можно производить непосредственно из устья скважины, затягивая воду в откаченную бутылку или промывалку или наполняя сосуды через сифон.

3. Если вода из скважины бьет сильным фонтаном, то для набора проб необходимо в скважину опустить на глубину 1—2 м

шланг (толстостенную резиновую трубку диаметром 5—10 мм), привязав его предварительно к полке, за которую шланг удерживается и набор проб производится из этого шланга (рис. 16).

4. Если скважина снабжена горизонтальным отводом, то лучше всего отвернуть верхнюю пробку и опустить шланг в скважину, как в п. 3. Если по техническим причинам этого сделать нельзя, то шланг засовывается как можно глубже в горизонтальный отвод,

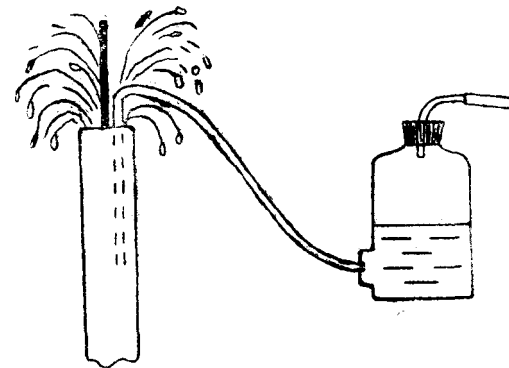


Рис. 16.

который затыкают тряпками или клином, подпруживая таким образом вытекающую струю так, чтобы он оказался сплошь заполненным водой и пробу набирают через шланг.

V. Набор проб не газовых вод из самоизливающихся скважин

1. По окончании буровых работ перед опробованием водоносного горизонта скважина должна быть прокачена до полного осветления воды.

2. Набор проб для определения радона надо производить не раньше, чем через 10—12 часов после полного восстановления уровня воды в скважине.

3. При режимных наблюдениях из наблюдательной скважины набор проб производится непосредственно без предварительной откачки воды из скважины.¹

4. Не допускается перед набором проб возмущать или перемешивать воду в скважине, опуская, например, термометр, хлопущку и т. п.

¹ Пункты 2 и 3 обусловлены следующим: согласно наблюдениям Н. А. Огильви, сразу после откачки концентрация радона в воде из скважины резко падает, благодаря интенсивному перемешиванию воды при откачке. Если же скважина долгое время стоит спокойно и вода в ней ничем не возмущается, то, благодаря фильтрации воды через скважину, в нижней части столба воды концентрация радона становится равной его концентрации в воде подземного потока, потеря же радона на диффузию через спокойно стоящий столб воды в скважине очень невелика.

5. Набор проб должен обязательно производиться на горизонте подтока исследуемых вод. Совершенно неправильно, например, набирать пробу при напорных водах выше этого горизонта в трубах, в которых вода стоит без движения как в пьезометрической трубке.

6. При неглубоких скважинах, когда глубина водоносного горизонта не превышает 6—8 м, лучше всего затягивать воду по шлангу в откаченные бутылки с тубусом, для циркуляционного метода, поступаая согласно п. II—5 (откачиваются две бутылки с тубусом для увеличения объема вакуума).

7. При глубоких скважинах необходимо употреблять специальные батометры, открывающиеся на нужном горизонте и обеспечивающие взятие проб воды без потери газа. Описание таких батометров дано в специальной литературе.

8. Набор проб желонкой, стаканчиком или из струи воды откачиваемой насосом, может служить только для грубо ориентировочного определения радона в воде.

VI. Набор проб газовых вод

1. Определение радона в газовых водах должно производиться отдельно в воде, содержащей нормальное количество растворенного газа и в спонтанном газе.

2. При наборе проб газовых вод необходимо обратить внимание чтобы, во-первых, из набираемой пробы воды не выделилась бы часть растворенных газов и, во-вторых, чтобы в набираемую пробу случайно не попал пузырек спонтанного газа.

3. Для соблюдения условий п. 2 набор газовых вод надо производить следующим образом:

а) для набора берется вспомогательная склянка Вульфа с тубусом у дна, емкостью 3—10 л (чем больше объем склянки, тем лучше). К тубусу присоединяется кусок резинового шланга диаметром 10—20 мм;

б) резиновый шланг от тубуса погружается в исследуемую воду и через склянку, тем или другим способом, создается ток воды так, чтобы вода входила бы через тубус и спокойно выливалась бы через склянки, полностью ее заполнив;

в) пропустив через склянку несколько ее объемов, зажимают шланг зажимом, вынимают его из источника и выждав 1—3 минуты для того, чтобы все пузырьки спонтанного газа поднялись бы до верха склянки, набирают пробу в рабочую бутылку через шланг от тубуса.

4. При наборе проб газовых вод самоизливающихся из скважины, шланг от вспомогательной склянки должен засовываться по возможности глубже в скважину, выполняя условия п. п. IV—3 и IV—4.

5. Если газовая вода стоит в колодце или в водоеме так, что нельзя вспомогательную склянку опустить на более низкий уровень и создать через нее ток воды, то возможно набрать пробу в вспо-

могательную склянку через нижний ее тубус, постепенно ее погружая в воду, согласно указаний п. п. I—5 и II—4.

6. Набор проб газовых вод из самоизливающихся буровых скважин производится специальными батометрами:

а) если набирается проба выше горизонта освобождения спонтанного газа, то проба для определения радона берется из нижней части батометра, дав возможность спонтанному газу подняться в его верхнюю часть;

б) если батометр опускается ниже горизонта освобождения спонтанного газа, то взятая батометром проба переводится в бутылки для циркуляционного метода, без потери воды и газа. При этом методе набора определяется полное количество радона, которое находится в воде до выделения из нее спонтанного газа.

§ 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА В СИЛЬНО ГАЗИРОВАННЫХ ВОДАХ

При встряхивании, для выделения радона из сильно газированной воды, выделяется растворенный газ, что вызывает повышенное давление. Производить циркуляцию при таком повышенном давлении нельзя, поскольку оно вызывает утечку радона и, кроме того, резиновая груша иногда настолько раздувается, что работать с ней делается невозможным.

Для того, чтобы избежать все эти затруднения при определении радона в газовых водах, поступают следующим образом:

При методе с резиновой грушей:

1. Вода из вспомогательной бутылки (см. пункт 2а набора проб газовых вод), засасывается в сильно откаченную циркуляционную бутылку.

2. Объем затугой воды и величина вакуума, создаваемого в бутылки при откачке, регулируется так, чтобы после взбалтывания воды в бутылки выделявшийся газ не создал бы избыточного давления (о давлении в бутылки обычно судят по степени раздувания соединительных резиновых трубок).

3. Создать условия изложенные в предыдущем пункте, обычно удается проведя очень сильную откачку бутылки и набрав в нее только небольшой объем воды (100—260 мл). При этом получают уже не те условия распределения радона между воздухом и водой, как при эталонировании системы и, следовательно, в результате измерений надо вносить поправки на распределение по п. 3 § 11.

При циркуляционном методе с сообщающимися сосудами

Первый способ

1. Обе бутылки вместе откачиваются одновременно.

2. Вода из вспомогательной бутылки засасывается в одну из бутылок, соединенной со второй через верхнюю трубку.

3. Необходимо следить за тем, чтобы после засасывания и взбалтывания в бутылках остался бы вакуум. Для этого набирают небольшой объем воды 0,5 — 0,6 л.

4. В результате измерений вносятся поправки на распределение радона между водой и воздухом.

Второй способ

1. Вода из вспомогательной бутылки по шлангу от нижнего тубуса осторожно наливается в одну из бутылей. Количество воды для исследования берется равным половине нормального (половина объема одной бутылки).

Примечание: Во избежание незначительных потерь радона при таком наборе, можно также засасывать произвольный объем исследуемой воды в одну откаченную бутылку.

2. Бутыль с исследуемой водой плотно закрывается, все зажимы зажимаются и взбалтываются.

3. В другую бутылку наливается неактивная вода в количестве точно дополняющем объем набранной воды до стандартного объема, при котором велось эталонирование прибора.

4. Соединяют нижние тубусы обеих бутылей и открывают зажимы на соединительных трубках.

Под влиянием давления от выделившихся газов часть воды из бутылки с исследуемой водой перельется в бутылку с неактивной водой (зажим на верхней трубке бутылки с неактивной водой при этом должен быть открытым).

5. Подняв бутылку с исследуемой водой, выравнивают уровень в обеих бутылках и этим приводят давление в бутылках к атмосферному.

6. Соединив верхние резиновые трубки бутылей и открыв зажим, поочередным поднятием бутылей полностью перемешивают в них воду.

7. Трясут обе бутылки и переводят радон в ионизационную камеру, как при обычной методике определения радона в негазовых водах (§ 10).

При описанном способе определения радона в газовых водах не требуется введение поправок на распределение и специального эталонирования прибора.

§ 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА В ПРИРОДНЫХ ГАЗАХ

а. Необходимое оборудование:

1. Электрометр 1

2. Ионизационная камера 1 комплект

3. Вакуумный насос Шинца или др. 1

4. Сифонный ртутный манометр 1

5. Психрометрический термометр, смонтированный в специальную ионизационную камеру 1

Примечание: термометр в камере монтируется следующим образом— берется ионизационная камера, вынимается электрод с изолятором и через это отверстие вставляется термометр так, чтобы шарик был по возможности в середине камеры.

6. Стеклянная или жестяная воронка диаметром 120 — 250 мм. — 1

7. Хлор-кальциевая трубка — 1

8. Секундомер — 1

9. Часы — 1

10. Анероид — 1

11. Соединительные толстостенные резиновые трубки с внутренним диаметром 3 — 5 мм.

12. Стеклянные переходы.

б) Переведение радона в ионизационную камеру.

1. Измеряют натуральное рассеяние прибора.

2. Набирают пробу газа в ионизационную камеру.

Этот набор осуществляется следующим образом:

а) выделяющийся газ собирается над водой в опрокинутую бутылку или специальный газометр по обычной методике взятия газов для химического анализа;

б) к одному из патрубков ионизационной камеры присоединяется открытый сифонный манометр при помощи короткой толстостенной резиновой трубки, с малым внутренним диаметром. Через другой патрубок камера откачивается. Закрывается кран или зажимается зажим на резиновой трубке и отсоединяется насос;

в) присоединяется к свободному патрубку хлор-кальциевая трубка и затем стеклянная трубка, которая заводится в опрокинутую бутылку над водой, в которой находится исследуемый газ;

Примечание: все соединительные резиновые и стеклянные трубки должны быть короткие с внутренним диаметром около 3 мм.

г) предварительно через всю систему соединительных трубок и через хлоркальциевую трубку протягивают насосом в продолжении 1 — 3 мин. исследуемый газ из бутылки;

д) делают начальный отсчет по обоим коленам манометра

$$P_1 = H_1 - h_1; ^1$$

е) постепенно открывая зажим у патрубка ионизационной камеры выпускают в нее некоторый объем исследуемого газа и опять зажимают этот зажим. Записывают время набора;

ж) выждав 5 — 10 м, чтобы газ в камере принял температуру окружающего воздуха, опять делают отсчет по манометру $P_2 = H_2 - h_2$, после чего отсоединяют манометр, предварительно закрыв зажимы;

в) замеряется давление воздуха P по анероиду и температуру t° по термометру, смонтированному в специальную камеру, которая

¹ Показание ртутного открытого сифонного манометра дает величину вакуума в камере. Абсолютное давление в ней будет $L = P_0 - P_1$, где P_0 — давление атмосферного воздуха.

во время набора пробы газа должна стоять около ионизационной камеры, в тех же термических условиях, как и камера.

3. Через три часа после набора измеряется ионизационный ток, согласно обычной методике.

Примечание: измерение можно проводить и по начальному току с введением соответствующих поправок Дюана (табл.=2).

4. По окончании измерения ионизационная камера тщательно продувается неактивным воздухом для полного удаления радона.

Таблица 2

Нарастание ионизационного тока при введении радона в камеру

Время с момента введ. радона в мин.	Ионизационный ток от радона и продуктов его распада	Переводный множитель для привед. к трехчасовому току	Время с момента введ. радона в мин.	Ионизационный ток от радона и продуктов его распада	Переводный множитель для привед. к трехчасовому току
0	1,000	2,170	10	1,547	1,405
1	1,130	1,920	15	1,600	1,360
1,5	1,180	1,840	30	1,680	1,300
2	1,235	1,760	40	1,750	1,241
3	1,315	1,650	50	1,820	1,195
4	1,380	1,570	60	1,885	1,158
5	1,423	1,522	70	1,940	1,122
6	1,457	1,490	80	2,000	1,089
7	1,490	1,455	100	2,070	1,050
8	1,514	1,430	120	2,130	1,021
9	1,530	1,420	180	2,170	1,00

5. Вычисляют результаты:

а) объем набранного газа V , приведенный к нулю и нормальному давлению, находят по формуле:

$$V = W \frac{273}{273+t} \cdot \frac{P_1 - P_2}{760}$$

где W — объем ионизационной камеры,

P_1 — начальный вакуум в камере,

P_2 — вакуум в камере после набора пробы газа.

Кроме того, вычисляют процентный состав газовой смеси в ионизационной камере X по формуле:

$$X = \frac{\Gamma}{\Gamma_1} = \frac{P_1 - P_2}{P_0 - P_1}$$

где V — объем исследуемого газа,

V_1 — объем оставшегося в камере воздуха.

б) концентрацию радона в исследуемом газе вычисляют по данным специального эталонирования прибора (см. ниже) для газовой смеси того же состава X , который образовался в камере при наборе исследуемого газа.

Примечание: такое специальное эталонирование необходимо производить для газов, в которых ионизационный эффект сильно отличается от такового в воздухе (метан, естественные болотные газы, нефтяные газы и т. д.). Для азота и др. газов, в которых ионизация мало отличается от ионизации в воздухе, можно пользоваться обычным эталонированием камеры как для вакуумного метода (см. § 11).

§ 15. ЭТАЛОНИРОВАНИЕ ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА В ГАЗАХ

1. Ионизационный ток в камере зависит от состава газа, который в ней находится (см. общую часть), поэтому эталонирование должно быть произведено при том же составе (или возможно близком), какой образуется в ионизационной камере при исследовании природных газов.

2. Для проведения эталонирования, исследуемый газ (или газ близкого химического состава являющийся типовым для данных объектов изучения) набирается в газометр большого объема и там оставляется до полного распада в нем радона (на один месяц).

3. Убеждаются специальным промером в неактивности газа в газометре.

4. Наполняют ионизационную камеру, предназначенную для эталонирования газом из газометра.

5. Определяют натуральное рассеяние в камере.

6. Откачивают камеру, присоединив к другому ее патрубку манометр.

7. Отсоединив насос (предварительно зажав зажимы около патрубка), присоединяют хлоркальциевую трубку и далее барбатер с эталоном радия по обычной схеме.

8. Делают начальный отсчет по манометру, который позволяет вычислить оставшийся в камере объем газа.

9. Открывают зажим на трубке, соединяющей камеру с барбатером, отламывают запаянный кончик его и затягивают радон из эталона, поступая согласно обычной методики (см. § 11).

10. Протянув через эталон достаточный объем воздуха в течение 10 мин., закрывают зажим и делают опять отсчет по манометру P_2 , который позволяет вычислить объем затянутого воздуха (V_1).

Примечание: при исследовании газовых струй азота или других газов не действующих на эталонный раствор радия, можно поступать в обратном порядке, затягивая газ из газометра через барбатер. Однако, для большинства газов лучше применять приведенную методику, так как протягивание через эталон многих газов (углеводороды, CO_2) сильно портят раствор радия.

§ 16. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРЕННОГО РАДИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОДАХ

11. Через три часа определяют ионизационный ток согласно общей методики.

12. Такое эталонирование производят несколько раз варьируя давления P_1 и P_2 и, следовательно, получая в ионизационной камере газовые смеси разного состава X_1 , X_2 и т. д.

Состав газовых смесей при эталонировании вычисляется по формуле:

$$X = \frac{V}{V_1} = \frac{P_0 - P_1}{P_1 - P_2}$$

Примечание: при обратном порядке эталонирования, т. е. когда через барбатер затягивается газ из газометра, состав газовой смеси вычисляется по формуле:

$$X = \frac{P_1 - P_2}{P_0 - P_1}$$

13. На миллиметровой бумаге строят график зависимости постоянного эталонирования прибора j от состава газовой смеси X .

14. Результаты измерения концентрации радона в газе при помощи указанного эталонирования вычисляются следующим образом:

Пусть при измерении исследуемого газа скорость спадания листочка за вычетом натурального рассеяния была $n \frac{\text{дел.}}{\text{мин.}}$ Объем набранного газа, вычисленный по пункту 5а был V_2 л и состав газовой смеси оказался X_1 .

По графику эталонирования находим значение j , отвечающее составу газовой смеси X_1 , тогда концентрация радона в исследуемом газе определится:

$$A = \frac{n \cdot j}{V_2} \frac{\text{Кюри}}{\text{литр}}$$

Таблица 3

Коэффициента распределения радона в воде и в воздухе

Температура в градусах Цельсия	η	Температура в градусах Цельсия	η
0	0,510	50	0,140
5	0,420	60	0,127
10	0,350	70	0,118
20	0,255	80	0,112
30	0,200	90	0,109
40	0,160	100	0,107

где: $\eta = \frac{C_w}{C_v} = \frac{q_w}{q_v} \frac{V}{W}$

C_w — концентрация радона в воде,
 q_w — общее количество радона в воде,
 C_v — концентрация радона в воздухе,
 q_v — общее количество радона в воздухе,
 V — объем воздуха,
 W — объем воды.

1. Растворенный радий определяется физическим путем по накопившемуся из него радону. Этот метод определения Ra в естественных водах является крайне грубым, дающим только порядок величин. В случае необходимости более точного определения Ra прибегают к радиохимическому методу.

2. Для набора проб воды на радий необходимо предварительно подготовить бутылки, в которые будут набираться пробы.

Для этого:

а) чисто вымытые бутылки промываются раствором пятипроцентной соляной кислоты и доставляют их на источник;

б) в бутылки наливают концентрированную химически чистую соляную кислоту, из расчета 2 мл на 1 литр исследуемой воды;

Примечание: соляная кислота должна быть проведена на отсутствие следов серной кислоты. Такая проверка производится следующим образом — к разбавленной соляной кислоте в пробирке прибавляют 2% раствор $BaCl_2$, подогревают и наблюдают, есть ли помутнение. Если есть, то кислота содержит следы иона SO_4^{2-} и не пригодна для подкисления проб на радий.

в) если вода сильно минерализована, то после подбавления к ней соляной кислоты она проверяется лакмусовой бумажкой и при отсутствии кислой реакции добавляется еще соляная кислота до получения ясно кислой среды.

3. При наборе проб из колодцев и источников с малым дебитом, образующим небольшие водоемы, они предварительно откачиваются и проба набирается из свежеступившей воды.

4. При наборе воды из крана необходимо предварительно слить 3 — 5 л воды, затем производить набор проб.

5. При наборе каким-либо сосудом из буровых скважин или источников, его предварительно обмывают исследуемой водой 5 раз.

6. При наборе мутной воды ее фильтруют, пропуская предварительно около 5 л исследуемой воды через вату. Такое фильтрование необходимо производить быстро на месте у источника, фильтруют воду непосредственно в бутылку, в которую набирается проба (в бутылку предварительно налита соляная кислота).

7. Проба на радий берется как минимум в две одинаковые бутылки, в количестве по 0,5 — 1 л. Из наиболее интересных объектов набирается до 5 л воды.

8. Перед определением радия необходимо удалить из воды имеющийся в ней при наборе радон. Такое удаление и последующие определения растворенного радия при циркуляционном методе с резиновой грушей производится следующим путем:

9. При циркуляционном методе с резиновой грушей, в качестве бутылей для набора пробы на радий берутся склянки вполне аналогичные склянкам для обычных измерений радона. В эти склянки наливается исследуемая вода до половины ее объема, поступая согласно вышеуказанных правил набора проб на радий. Склянку закупоривают резиновой пробкой, через которую пропущены две трубки, одна входящая до дна и другая короткая. Затем склянка с пробкой интенсивно взбалтывается в течение одной минуты и про-

дувается резиновой грушей через длинную трубку в течение пяти минут. Такое взбалтывание с последующим продуванием повторяется 10 раз. В случае наличия в лаборатории водоструйного насоса или какой-либо воздушной удельной, удаление радона производится интенсивным продуванием в течение 15 — 30 мин.

После удаления радона таким взбалтыванием и продуванием, резиновая пробка тщательно обмазывается менделеевской замазкой, на концы стеклянных трубок надеваются короткие резиновые трубки, которые плотно зажимаются зажимами. Слянка переворачивается вверх дном и в таком положении ставится в ящик с гнездами или в какой-нибудь штатив, предохраняющий от поломки выступающих стеклянных трубок. На каждой склянке имеется этикетка с подробным указанием наименования источника, набора пробы и время окончания продувания воды, которое записывается с точностью до минуты.

Выждав достаточный промежуток времени для накопления радона из радия (в зависимости от ожидаемой его концентрации от 2 до 10 дней), склянка вынимается, включается в обычную циркуляционную схему с резиновой грушей и, поступая согласно указаний § 10, определяется в воде содержание радона. После чего склянки опять продуваются, согласно вышеуказанных правил, и ставится на новое накопление для контрольных измерений.

10. Расчет содержания растворенного радия по данным измерений ведется следующим образом:

Вычисляется концентрация радона по данным измерений с учетом градуировки прибора, с введением всех необходимых поправок на температуру и объем воды, согласно указаний § 11.

Пусть при этом получится, что проба воды, простоявшая t дней, содержит A_1 кюри в литре.

Тогда содержание растворенного радия в воде будет:

$$A = \frac{A_1}{1 - e^{-\lambda t}} \text{ г радия в литре,}$$

где величина в скобках в знаменателе берется из таблицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов В. И. Универсальный прибор и его применение для определения радиоактивности пород, вод и газов. Госгеолиздат, 1944.
2. Баранов В. И., Огильви А. Н., Соколов А. П., Бурксер Е. С. Инструкция к измерению радиоактивности минеральных источников Кур. Упр. НКЗ РСФСР, 1930.
3. Берг Г. Геохимия месторождений полезных ископаемых М. Л. ОНТИ гор. топл. и геол. развед. 1937.
4. Богоявленский Л. Н. Краткий курс радиометрии, 1933.
5. Бурксер Е. С. Радиоактивность минеральных вод и лечебных грязей. Основы курортологии, том I, Москва, 1932.
6. Вернадский В. И. Очерки геохимии. Изд. 4-е, Гос. Н.Т., Г.Г.Н.И. 1934.
7. Вериго А. Б. Руководство к измерению радиоактивных горных пород и водных источников Г.Г.О, Ленинград, 1937.
8. Вериго А. Б. Определение по гамма-лучам содержания радиоактивных веществ в горных породах и почвах. Изв. Г.Г.С. № 3, 1929.
9. Граммаков А. Г. Полевые радиометрические измерения на универсальном приборе. Изд. ГГРУ, 1930.
10. Егоров Б. Д. Инструкция по радиологическим определениям содержания радия и тория в природных водах. Сборник методических инструкций для гидрогеологических работ при глубоком роторном бурении. Госгеолиздат, 1941.
11. Инструкция по радиоактивным методам геофизической разведки. Госгеолиздат, 1944.
12. Инструкция для взятия проб природных газов. Госгеолиздат, 1931.
13. Иоффе А. Ф. Техника физического эксперимента. Москва—Ленинград, Гос. Издат., 1929.
14. Кириков А. Н., Тверской Б. Н., Граммаков А. Г., Горшков Г. В., Айдаркин Б. С. Радиоактивные геофизические методы в приложении к геологии. ОНТИ, Горгеонефтеиздат, 1934.
15. Королев А. В. Поисковые критерии магматогенных месторождений радиоактивных элементов. Госгеолиздат, 1944.
16. Кюри. Радиоактивность. Изд. Наука и жизнь, 1912.
17. Людевиц П. Радиоактивность Научно-хим. техн. из-во Лен-д, 1926.
18. Некрасов Б. В. Курс общей химии. ОНТИ, 1937.
19. Огильви А. Н. Определение содержания эманации радия в воде в полевой обстановке циркуляционным методом без применения резиновых груш. Известия геологического Комитета т. X., VIII № 3, 1929.
20. Огильви А. Н. О каптаже радиоактивных вод и о колебаниях их радиоактивности в зависимости от дебита. Пятигорск. 1928.
21. Огильви А. Н. Краткий предварительный отчет о гидрогеологических работах по изучению радиоактивности вод Пятигорска. Материалы по общей и прикладной геологии. Выпуск 96, 1929.
22. Огильви А. Н. и Щепотьева Е. С. Опыт изучения короткоживущих продуктов распада эманации радия в Цхалтубских минеральных водах и процессов их осаждения на кожу при купании в ваннах и бассейнах. Труды 16 Г.У. НИ Ин-т Курортологии и физиотерапии Главкурпрта НКЗ Грузии. 1935.

23. Огильви Н. А. Ходжа-Оби-Гармские минеральные воды в Таджикистане. 1934 г. Рукопись. Находится в фондах Геологического управления Таджикистана.
24. Огильви Н. А. Отчет о работах, проведенных Геохимической партией Бюро Г.Г.Р. при Г.Ц.Б.И. 1938 г. Рукопись в фондах Г.Ц.Б.И.
25. Огильви Н. А. К вопросу о радиоактивности Цхалтубских минеральных вод. Цхалтуба, том II. Изд. Института Курортологии и физиотерапии ГССР. Тбилиси, 1938.
26. Огильви Т. Д. Инструкция по измерению радона в подземных водах. Рукопись. Находится в Радиологической лаборатории ВСЕГИНГЕО.
27. Пустовалов Л. В. Петрография осадочных пород Г.Н.Т.И.Н.И.Г.Т.И. 1940.
28. Рагнер А. И. Радиоактивные индикаторы и их применение. Химтрест, Ленинград. 1936.
29. Справочная книга Геофизика-разведчика, вып. 3, Г.Г.Н. Изд. 1933.
30. Старик И. Е. Форма нахождения и условия первичной миграции радиоэлементов в природе. „Успехи химии“, т. XII, вып. 4. 1943.
31. Старик И. Е. Радиохимический анализ. „Анализ-минерального сырья“. Химтрест, Ленинград, 1936.
32. Техническая энциклопедия. Справочник констант. Т.Н.
33. Ферсман А. Е. Геохимия. Госхимиздат, 1939.
34. Хвольсон О. Д. Курс физики том I, 1933.
35. Ховешви Г. и Панет Ф. Радиоактивность. Ленинград, 1925.
36. Щепотьева Е. С. К методике измерений радиоактивности. вакуумный метод измерения содержания радона в водах и газах. Доклады Академии Наук СССР, 1943. том X, I, № 4.
37. Щепотьева Е. С. Сообщение I. Процессы, приводящие к уменьшению концентрации радиоэлементов в водах. О некоторых явлениях миграции радиоэлементов при соприкосновении вод и пород. Изв. Академии Наук СССР. Отделение химических наук, № 1, 1944.
38. Щепотьева Е. С. Сообщение II. Процессы, приводящие к обогащению радиоэлементов. Изв. Академии Наук СССР. Отделение химических наук, № 2-3, 1944.
39. Щепотьева Е. С. Об условиях обогащения природных вод радием и его изотопами. Доклады Академии Наук СССР, том X, III, № 7, 1944.
40. Щербачков Д. И. Геология месторождений радиоактивных элементов и поисковые критерии. Госгеолыздат. 1944.
41. Behounek F. Über die Verhältnisse der Radioakt Uranpacherzberglairevier von St. Jachinsthal in Böhmen; Phys Zeitschr, № 9, 1927.
42. Meyer St. und Egon Schweidler. Radioaktivität, 2 Auflage, Berlin 1927.
43. Ment J de Daka H. C. Uranium and atomic power. Brooklyn № y chem, Publ. Co 1941.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Накопление

Часы	0 дней	1 день	2 дня	3 дня	4 дня	5 дней	6 дней
0	0,000	0,166	0,304	0,420	0,516	0,596	0,663
1	0,008	0,172	0,309	0,424	0,519	0,599	0,666
2	0,015	0,178	0,315	0,428	0,523	0,602	0,668
3	0,022	0,185	0,320	0,433	0,527	0,605	0,671
4	0,030	0,191	0,325	0,437	0,530	0,608	0,673
5	0,037	0,197	0,330	0,441	0,534	0,611	0,676
6	0,044	0,203	0,335	0,445	0,537	0,614	0,678
7	0,052	0,209	0,340	0,449	0,541	0,617	0,680
8	0,059	0,215	0,345	0,454	0,544	0,620	0,683
9	0,066	0,221	0,350	0,458	0,547	0,623	0,685
10	0,073	0,227	0,355	0,462	0,551	0,625	0,688
11	0,080	0,232	0,360	0,466	0,554	0,628	0,690
12	0,087	0,238	0,364	0,470	0,558	0,631	0,692
13	0,094	0,244	0,369	0,474	0,561	0,634	0,695
14	0,100	0,250	0,374	0,478	0,564	0,637	0,697
15	0,107	0,255	0,379	0,482	0,568	0,639	0,699
16	0,114	0,261	0,383	0,486	0,571	0,642	0,701
17	0,121	0,266	0,388	0,489	0,575	0,645	0,704
18	0,127	0,272	0,392	0,493	0,577	0,647	0,706
19	0,134	0,277	0,397	0,497	0,581	0,650	0,708
20	0,140	0,283	0,402	0,501	0,584	0,653	0,710
21	0,146	0,288	0,406	0,505	0,587	0,655	0,712
22	0,153	0,294	0,411	0,508	0,590	0,658	0,715
23	0,160	0,299	0,415	0,512	0,593	0,661	0,717

радо́на $(1 - e^{-\lambda t})$

7 дней	8 дней	9 дней	10 дней	11 дней	12 дней	13 дней	14 дней
0,719	0,766	0,804	0,837	0,864	0,886	0,905	0,921
0,721	0,767	0,806	0,838	0,865	0,887	0,906	0,922
0,723	0,769	0,807	0,839	0,866	0,888	0,907	0,922
0,725	0,771	0,809	0,841	0,867	0,889	0,907	0,923
0,727	0,773	0,810	0,842	0,868	0,890	0,908	0,923
0,729	0,774	0,812	0,843	0,869	0,891	0,909	0,924
0,731	0,776	0,813	0,844	0,870	0,892	0,909	0,925
0,733	0,778	0,815	0,845	0,871	0,892	0,910	0,925
0,735	0,779	0,816	0,846	0,872	0,893	0,911	0,926
0,737	0,781	0,817	0,848	0,873	0,894	0,912	0,926
0,739	0,783	0,819	0,849	0,874	0,895	0,912	0,927
0,741	0,784	0,820	0,850	0,875	0,896	0,913	0,927
0,743	0,786	0,821	0,851	0,876	0,896	0,914	0,928
0,745	0,787	0,823	0,852	0,877	0,897	0,914	0,928
0,747	0,789	0,824	0,853	0,878	0,898	0,915	0,929
0,749	0,791	0,825	0,854	0,878	0,899	0,915	0,929
0,751	0,792	0,827	0,855	0,879	0,899	0,916	0,930
0,753	0,794	0,828	0,857	0,880	0,900	0,917	0,931
0,755	0,795	0,829	0,858	0,881	0,900	0,917	0,931
0,757	0,797	0,831	0,859	0,882	0,902	0,918	0,932
0,758	0,798	0,832	0,860	0,883	0,902	0,919	0,932
0,760	0,800	0,833	0,861	0,884	0,903	0,919	0,933
0,762	0,801	0,834	0,862	0,885	0,904	0,920	0,933
0,764	0,803	0,835	0,863	0,886	0,905	0,920	0,934

Накопление

Часы	15 дней	16 дней	17 дней	18 дней	19 дней	20 дней	21 день
0	0,934	0,945	0,954	0,962	0,968	0,973	0,978
1	0,935	0,945	0,954	0,962	0,968	0,974	0,978
2	0,935	0,946	0,955	0,962	0,969	0,974	0,978
3	0,936	0,946	0,955	0,963	0,969	0,974	0,978
4	0,936	0,947	0,956	0,963	0,969	0,974	0,978
5	0,936	0,947	0,956	0,963	0,969	0,974	0,979
6	0,937	0,947	0,956	0,963	0,970	0,975	0,979
7	0,937	0,948	0,957	0,964	0,970	0,975	0,979
8	0,938	0,948	0,957	0,964	0,970	0,975	0,979
9	0,938	0,949	0,957	0,964	0,970	0,975	0,979
10	0,939	0,949	0,957	0,965	0,970	0,975	0,979
11	0,939	0,949	0,958	0,965	0,971	0,976	0,980
12	0,940	0,950	0,958	0,965	0,971	0,976	0,980
13	0,940	0,950	0,958	0,965	0,971	0,976	0,980
14	0,941	0,951	0,959	0,966	0,971	0,976	0,980
15	0,941	0,951	0,959	0,966	0,972	0,976	0,980
16	0,942	0,951	0,959	0,966	0,972	0,976	0,980
17	0,942	0,952	0,960	0,966	0,972	0,977	0,980
18	0,942	0,952	0,960	0,966	0,972	0,977	0,981
19	0,943	0,952	0,960	0,967	0,972	0,977	0,981
20	0,943	0,953	0,961	0,967	0,973	0,977	0,981
21	0,944	0,953	0,961	0,967	0,973	0,977	0,981
22	0,944	0,953	0,961	0,968	0,973	0,977	0,981
23	0,945	0,954	0,961	0,968	0,973	0,978	0,981

радоны ($1 - e^{-\lambda t}$)

22 дня	23 дня	24 дня	25 дней	26 дней	27 дней	28 дней	29 дней	30 дней
0,981	0,985	0,987	0,989	0,991	0,993	0,994	0,995	0,996
0,982	0,985	0,987	0,989	0,991	0,993	0,994	0,995	
0,982	0,985	0,987	0,989	0,991	0,993	0,994	0,995	
0,982	0,985	0,987	0,989	0,991	0,993	0,994	0,995	
0,982	0,985	0,987	0,990	0,991	0,993	0,994	0,995	
0,982	0,985	0,988	0,990	0,991	0,993	0,994	0,995	
0,982	0,985	0,988	0,990	0,991	0,993	0,994	0,995	
0,982	0,985	0,988	0,990	0,991	0,993	0,994	0,995	
0,983	0,985	0,988	0,990	0,992	0,993	0,994	0,995	
0,983	0,986	0,988	0,990	0,992	0,993	0,994	0,995	
0,983	0,986	0,988	0,990	0,992	0,993	0,994	0,995	
0,983	0,986	0,988	0,990	0,992	0,993	0,994	0,995	
0,983	0,986	0,988	0,990	0,992	0,993	0,994	0,995	
0,983	0,986	0,988	0,990	0,992	0,993	0,994	0,995	
0,983	0,986	0,988	0,990	0,992	0,993	0,994	0,995	
0,984	0,986	0,989	0,990	0,992	0,993	0,994	0,995	
0,984	0,986	0,989	0,991	0,992	0,993	0,995	0,995	
0,984	0,987	0,989	0,991	0,992	0,993	0,995	0,995	
0,984	0,987	0,989	0,991	0,992	0,994	0,995	0,995	
0,984	0,987	0,989	0,991	0,992	0,994	0,995	0,996	
0,984	0,987	0,989	0,991	0,992	0,994	0,995	0,996	
0,984	0,987	0,989	0,991	0,992	0,994	0,995	0,996	

Форма №

Журнал радиометрического
Определение

Дата измерения	Электрометр № _____	Камера № _____	Постоянная эталонирования прибора _____	Метод _____
Натуральное рассеяние			Активность пробы	

Журнал радиометрического
Определение

Дата измерения	Электрометр № _____	Камера № _____	Постоянная эталонирования прибора _____	Метод _____
Натуральное рассеяние			Активность пробы	

Журнал измерений вод
радона

Наблюдатель _____

Проба № _____	Место взятия пробы			
Дата взятия Число Часы Мин.			Район _____	
			Пункт _____	
			№ источника, колодца, водоема, скважины, шахты	
Объем в л				
t° воды	Время введения радона в камеру			Примечание
	Число	Часы	Мин.	
Расчет:				

Журнал измерений вод
растворенного радия

Наблюдатель _____

Проба № _____	Место взятия пробы				
Дата взятия			Район _____		
			Пункт _____		
			№ источника колодца, водоема, скважины, шахты		
Объем в л	t° воды				
Накопление радона в пробе	Число	Часы	Мин.	1 - e ^{-λt}	Примечание
Введена					
Запаяна					
Накопление	Дней				
Расчет:					

Журнал радиометрических
Эта л о н и р о в а н и е

измерений вод
п р и б о р а

Наблюдатель _____

Форма №

Дата измерения	Электрометр № _____	Камера № _____	Результат эталонирования		
Натуральное рассеяние			Активность эталона		

Эталон № _____	Содержание радия в эталоне					
	Накопление радона в эталоне	Число	Часы	Мин.	$1 - e^{-\lambda t}$	Примечание
Введено						
Запаяно						
Накопление	Дней					

Расчет:

С п и с о к
приборов и оборудования, необходимых для проведения
радиологических измерений вод

№№ п/п	Наименование оборудования	Колич.
1.	Электрометр универсальный листочковый	1
2.	Камеры ионизационные	3
3.	Промывалки металлические	3
4.	Часы	1
5.	Секундомер	1
6.	Эбонитовая палочка	1
7.	Фольга алюминиевая	4 листа
8.	Стекланная вата или кварцевые нити	1
9.	Ножницы	1
10.	Перочинный нож	1
11.	Пинцет	1
12.	Часовые отвертки	1
13.	Ртутный манометр	1
14.	Насосы-Камовского, Шинца и масляный с мотором	1
15.	Термометры	2
16.	Груша резиновая парикмахерская	1
17.	Эталонь радия в растворе X10 ⁻⁹	2 амп.
18.	Спирт чистый ректиф.	200 г
19.	Соляная кислота	1—2 л
20.	Хлористый кальций гранулиров.	1 кг
21.	Хлористый барий	200 г.
22.	Замазка Менделеевская	2 кг
23.	Клей синдитикон	1 туб.
24.	Бутылки емк. 0,5 л. } 1,0 л. } 1,5 л. }	15 шт.
25.	Бутылки с тубусами 1 л—1,5 л	4 шт.
26.	Барбатыры стекл. 50—60 см ³	4 шт.
27.	Хлоркальциевые трубки	10 шт.
28.	Стекланные переходники	20 шт.
29.	Пробки стекланые	20 шт.

№№ п/п	Наименование оборудования	Колич.
30.	Промывалки стекланые	1 шт.
31.	Воронки стекл.	2 шт.
32.	Мерный цилиндр 0,25 л—0,5 л.	2 "
33.	Стекланые краны	5 "
34.	Каучук разного диаметра от 0,4—1,0 см	1 кг
35.	Пробки резиновые разных диаметров	1 кг
36.	Пробки корковые	0,250 "
37.	Вата гигроскопическая	200 "
38.	Зажимы винтовые	20 шт.
39.	Молоток	1 шт.
40.	Напильник	1 "
41.	Плоскогубцы	1 "
42.	Кусачки	1 "
43.	Паяльная лампа или примус	1 "
44.	Ведро или таз	1 "

<i>Приложение II</i> —Единый журнал радиометрических измерений вод форма № 1—определение радона	56
<i>Приложение III</i> —форма № 2—определение растворенного радия	56
<i>Приложение IV</i> —форма № 3—эталонирование прибора	58
<i>Приложение V</i> —Список приборов и оборудования, необходимых для проведения радиологических измерений вод	60

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Часть I. Общая	
§ 1. Некоторые свойства главных элементов уранового ряда	3
§ 2. Радиоактивность природных вод	10
§ 3. Генезис радиоактивных вод	12
§ 4. Режим радиоэлементов в воде	17
§ 5. Основные принципы измерения концентрации радона в водах	19
§ 6. Сравнительная оценка методов перевода радона в ионизационные камеры	20
Часть II. Специальная	
§ 7. Оборудование полевой лаборатории	23
§ 8. Определение натурального рассеяния	24
§ 9. Выделение радона из воды и переводении его в ионизационную камеру	25
§ 10. Эталонирование приборов	28
§ 11. Вычисление результатов измерений	32
§ 12. Набор проб воды для определения радона	33
§ 13. Определение концентрации радона в сильно газированных водах	41
§ 14. Определение концентрации радона в природных газах	42
§ 15. Эталонирование прибора для определения концентрации радона в газах	44
§ 16. Определение растворенного радия в естественных водах	46
Литература	49
Приложения:	
<i>Приложение I</i> —Таблица накопления радона	52

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать	По чьей вине
12	9 сверху	ее	его	автора
12	28 сверху	ее	его	автора
24	21 сверху	самозаряжается	перезаряжается	автора
29	9 сверху	домдевой	дождевой,	типографии
34	8 сверху	накапированного,	некапированного,	автора

Огильви и др.

Отв. редактор А. Г. Колчина

Сдано в набор 17/V 1946 г.

Формат 60 x 92¹/₁₆.

Тираж 2000 экз.

М 02561

Подписано к печ. 11/VI 1946.

Зак. 537

печ. листов 4.

Типография Картфабрики Госгеолиздата