

06  
Т 78

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ СССР ПРИ СНК СОЮЗА ССР

---

# ТРУДЫ ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Под редакцией проф. П. Н. ТВЕРСКОГО

ВЫПУСК 20

## АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

(I)

185 936



---

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛЕНИНГРАД 1937 МОСКВА

GENERAL OFFICE OF THE HYDROMETEOROLOGICAL  
SERVICE OF USSR

# **TRANSACTIONS**

**OF THE CENTRAL GEOPHYSICAL OBSERVATORY**

FASC. 14

Editor in chief prof. *P. N. Tverskoj*

**ATMOSPHERIC ELECTRICITY**

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий выпуск Трудов Главной геофизической обсерватории посвящен работам, выполненным в Группе атмосферного электричества. В настоящем выпуске вниманию читателей предлагаются работы Р. А. Аллика, Е. С. Меркуловой и А. В. Першина. Работы Р. А. Аллика и Е. С. Меркуловой посвящены выяснению связи между элементами атмосферного электричества (проводимостью воздуха и напряжением поля) и радиоактивностью воздуха, с одной стороны, и воздушными массами различного происхождения, с другой. В основу исследования положены систематический материал наблюдений, проводящихся в Группе атмосферного электричества, и синоптические карты погоды.

Весьма важный и интересный с точки зрения синоптической метеорологии вопрос об электрических характеристиках воздушных масс указанными работами естественно не решается в окончательном виде, но те зависимости, которые ими установлены, безусловно представляют значительный интерес.

Третья статья, А. В. Першина, помещенная в данном выпуске, посвящена вопросу о радиоактивности осадков и хотя содержит результаты сравнительно небольшого числа измерений, но интересна тем анализом, который автор проводит в ней в направлении решения вопроса о механизме наделения осадков активными продуктами.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Р. А. Аллик. Электрическое состояние атмосферы и воздушные массы . . . . .	5
Е. С. Меркулова. Радиоактивность воздуха и воздушные массы . . . . .	35
А. Першин. О радиоактивности атмосферных осадков . . . . .	47

---

## CONTENTS

R. A. Allik. The electrical state of the atmosphere and the air-masses . . . . .	33
E. S. Merkulova. Air radioactivity and air-masses . . . . .	45
A. Pershin. On the radioactivity of atmospheric precipitations . . . . .	56

---

## ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРЫ И ВОЗДУШНЫЕ МАССЫ

### § 1. Введение

Изучение электрических свойств различных воздушных масс имеет, очевидно, не только теоретическое, но и практическое значение, так как можно ожидать, что учет электрического состояния атмосферы окажется полезным в практике синоптического анализа.

В настоящее время мы, однако, располагаем лишь весьма отрывочными данными об электрических свойствах воздушных масс различного происхождения, что в особенности относится к зависимости от природы воздушных масс таких элементов атмосферного электричества, как напряженность электрического поля в атмосфере и электропроводность воздуха. Высказывания отдельных авторов [1, 2] о различиях в электрических свойствах разнородных воздушных масс по необходимости основаны больше на соображениях общего порядка и поэтому не могут отличаться определенностью.

Изменения электрического состояния атмосферы с переходом от одних слоев воздуха к другим в вертикальном направлении непосредственно наблюдались при атмосферно-электрических измерениях во время полетов (Линке, Виганд) [3, 4]. На связь между вертикальным расслоением атмосферы и изменениями электрического состояния последней с высотой указывают и данные Идрака [5], полученные в результате измерений электрического поля на различных высотах помощью шаровзондов.

Что касается влияния неоднородностей атмосферы на электрическое состояние приземных слоев воздуха, то еще в 60-х годах прошлого века Фитцрой [6] отмечал, что полярный воздух „наэлектризован положительно“, а тропический воздух „отрицательно или заметно менее наэлектризован“. В своей системе синоптики Фитцрой вообще уделяет большое внимание электрическим процессам в атмосфере. „Положительная электризация воздуха“ у Фитцроя, очевидно, соответствует высоким положительным, а „отрицательная или меньшая электризация“ — отрицательным или малым положительным значениям градиента электрического поля в атмосфере. Далее следует указать на давно известный факт зависимости электропроводности воздуха от направления ветра — зависимости, определяемой, повидимому, не только чисто местными условиями пункта наблюдений. Можно считать, что при ветрах южных румбов имеют место высокие, а при северных ветрах наоборот — низкие значения электропроводности [7, 8].

В последнее время непосредственное сопоставление электрического поля в атмосфере и электропроводности воздуха с воздушными массами производилось Гольдшмидтом по наблюдениям в Вансдорфе [9, 10].

Кун [11] не мог обнаружить ясной зависимости между электрическим полем в атмосфере и воздушными массами, но это легко объясняется тем, что Кун воспользовался измерениями поля, произведенными на территории города (Франкфурт н/М), где поле сильно искажено загрязнением воздуха.

На ряде работ, в которых рассматривается зависимость содержания ионов в воздухе от природы воздушных масс, мы здесь не останавливаемся.

В настоящей работе автор намерен попытаться выяснить электрические свойства различных воздушных масс на основе более или менее обширного материала наблюдений над электрическим полем и электропроводностью воздуха, дающего возможность сделать некоторые средние выводы. А именно: для настоящей работы использованы наблюдения за 4 г. (с 1931 по 1934 г. включительно), произведенные в Слуцке (Ленинградской области) в Секторе атмосферного электричества Главной геофизической обсерватории. Измерения электропроводности производились по методу рассеивающей проволоки (метод Шеринга); измерения поля — помощью иониевого коллектора. Для непрерывной регистрации указанных элементов служили электрографы Бенндорфа. Распределение воздушных масс определялось по синоптическим картам Центрального бюро погоды СССР, относящимся к 7 часам утра.

Обозначения приняты следующие:

- $\lambda_+$  — положительная проводимость воздуха в  $10^{-6}$  ESE
- $\lambda_-$  — отрицательная проводимость воздуха в  $10^{-6}$  ESE
- $\lambda$  — полная проводимость воздуха в  $10^{-6}$  ESE
- $V'$  — напряженность электрического поля в атмосфере в вольт/м
- $(n)$  — число значений того или иного элемента, использованных для вычисления среднего
- $B$  — атмосферное давление
- $t$  — температура воздуха
- CPL — континентальный полярный воздух
- MPL — морской полярный воздух
- CAL — континентальный арктический воздух
- MAL — морской арктический воздух
- APL — арктический полярный воздух
- WF — теплый фронт
- KF — холодный фронт
- OF — фронт окклюзии

При вычислении средних значений  $\lambda$  и  $V'$  опущены часы с осадками, так как во время осадков  $\lambda$  вообще не определялось, а  $V'$  имеет, как известно, сильно искаженные значения. Кроме того, интересуясь в первую очередь абсолютной величиной  $V'$ , мы нашли целесообразным вообще не принимать в расчет отрицательные значения градиента, как обусловленные большей частью влиянием местных причин. При вычислении средних суточных значений  $\lambda_{\pm}$  возникли трудности, связанные с довольно частыми пропусками в непрерывной регистрации, из которых наиболее неприятны пропуски в летнее время, возникающие вследствие действия паутины, появляющейся в приборах. Поэтому дни, за которые можно было достаточно надежно вычислять средние суточные значения электропроводности, пришлось подвергнуть специальному отбору.

## § 2. $\lambda$ и $V'$ при различных воздушных массах

В табл. 1 приведены средние суточные значения  $\lambda$  и  $V'$  для различных воздушных масс по отдельным годам наблюдений. Обращает на себя внимание преобладание в 1931-32 гг. морского полярного воздуха, в то время как в 1933-34 гг. превалирует континентальный полярный воздух.





где кроме средних суточных значений  $\lambda$  и  $V'$  приведены средние значения этих элементов для промежутков времени: 0—1, 7—8, 12—13, 19—20 час. (т. е. ночные, утренние, дневные и вечерние значения).

Просмотр таблицы приводит к заключению, что

(В). Выводы (А) остаются в силе для любого времени суток. Иными словами: изменение свойств той или иной воздушной массы в зависимости от времени суток, так же как и собственный суточный ход  $\lambda$  и  $V'$ , не отражаются заметным образом на характере зависимости электрического состояния атмосферы от типов воздушных масс.

Существенно могут меняться свойства некоторых воздушных масс в зависимости от времени года. Так, например, морской полярный воздух летом является, как известно, преимущественно холодной массой, а зимой — теплой. Неустойчивый характер арктических воздушных масс особенно ярко выражен летом. Поэтому необходимо сопоставить элементы атмосферного электричества с воздушными массами отдельно для различных времен года. Результаты такого сопоставления приведены в табл. 3 и 4.

В верхней части табл. 3 приведены значения  $\lambda$  и  $V'$  для различных воздушных масс „зимой“ и „летом“, причем за зимние месяцы приняты условно декабрь, январь, февраль, март, а за летние — май, июнь, июль, август, сентябрь.

Для арктических воздушных масс вместо „лета“ взяты средние за май, июнь и сентябрь (нижняя часть табл. 3), потому что в июле и августе арктические массы, как известно, умеренных широт не достигают; в предпоследней строке таблицы приведены для сравнения значения  $\lambda$  и  $V'$  для CPL, вычисленные за эти же три месяца (май, июнь, сентябрь).

В табл. 4 приведены некоторые относительные разности  $\lambda$  и  $V'$ .

Из рассмотрения таблиц следует, что

(С). Выводы (А) остаются в общем в силе как для холодного, так и для теплого времени года, причем в теплое время года разница в электрических свойствах различных воздушных масс значительно сглаживается.

В самом деле, достойны внимания высокие значения электропроводности в теплое время года для арктических воздушных масс. Значения  $\lambda$  при MAL, например, достигают той же величины, что и при CPL, а в некоторые сроки и превосходят их. Показательны также очень высокие значения электропроводности для арктического полярного воздуха, встречающегося в июле и августе (последняя строка табл. 3). Таким образом, при общем росте электропроводности от зимы к лету, особенно сильным является этот рост для арктических воздушных масс.

В табл. 4 числа, относящиеся ко всему году, в большинстве случаев выше каждого из двух соответствующих чисел для отдельных времен года. Это объясняется неодинаковой повторяемостью различных воздушных масс в разные времена года. В переходное время года зависимость  $\lambda$  и  $V'$  от воздушных масс не представляет ничего нового, что видно из табл. 5, в которой приведены средние суточные значения  $\lambda$  и  $V'$  при различных воздушных массах, вычисленные за апрель, октябрь и ноябрь.

Таблица 4

Относит. разности	Время года		Весь год
	холодн.	теплое	
$\frac{\lambda_{CPL} - \lambda_{AL}}{\lambda_{CPL}}$	30%	9%	25%
$\frac{V'_{AL} - V'_{CPL}}{V'_{AL}}$	22%	9%	30%
$\frac{\lambda_{MAL} - \lambda_{CAL}}{\lambda_{MAL}}$	22%	14%	26%
$\frac{V'_{CAL} - V'_{MAL}}{V'_{CAL}}$	8%	-3%	12%

Относительные разности  $\lambda$  и  $V'$  за эти же месяцы имеют следующие значения:

$$\frac{\lambda_{\text{CPL}} - \lambda_{\text{AL}}}{\lambda_{\text{CPL}}} = 25\%; \quad \frac{V'_{\text{AL}} - V'_{\text{CPL}}}{V'_{\text{AL}}} = 30\%;$$

$$\frac{\lambda_{\text{MAL}} - \lambda_{\text{CAL}}}{\lambda_{\text{MAL}}} = 34\%; \quad \frac{V'_{\text{CAL}} - V'_{\text{MAL}}}{V'_{\text{CAL}}} = 11\%.$$

Следует, наконец, отметить сравнительно высокие значения поля при MAL, несколько не соответствующие относительно большей электропроводности, что видно как из табл. 3 и 4, так и из табл. 1 и 2.

Для подтверждения некоторых выводов, сделанных выше, известное значение может иметь сопоставление электропроводности и поля с направлением ветра. Такое сопоставление произведено нами по наблюдениям в Случке за 16 лет (с 1916 по 1931 г.), причем использованы были данные только по „нормальным“ дням.

Для того, чтобы по возможности исключить влияние суточного и годового хода как направления ветра, так и элементов атмосферного электричества на полученные результаты,

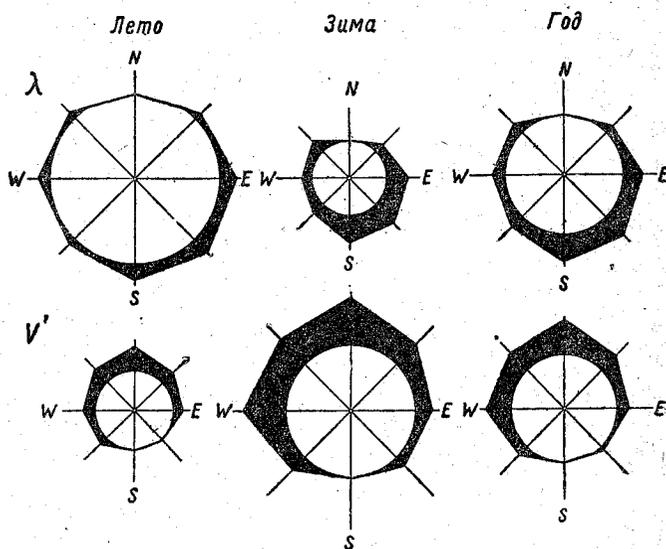
Таблица 5

Месяцы	Воздушная масса	Среднее за сутки		
		$\lambda$	$V'$	( $n$ )
IV	CPL . . . . .	202	126	(81)
X	MPL . . . . .	205	165	(50)
XI	CAL . . . . .	120	190	(18)
	MAL . . . . .	182	169	(32)

подсчеты произведены отдельно для теплого и холодного времени года и для различного времени суток (утра, дня и вечера). К холодному времени года отнесены декабрь, январь, февраль, март; к теплomu — май, июнь, июль, август, сентябрь, октябрь. В качестве утренних часов выбрано время от 4 до 7<sup>h</sup>; дневных — от 12 до 15<sup>h</sup> и вечерних от 20 до 23<sup>h</sup>. Для подсчетов были использованы средние часовые значения  $\lambda$  и  $V'$ .

Направление ветра определялось по записям анемометра Метеорологического института ГГО в Случке, с приемной частью, расположенной на башне, на высоте 45 м от поверхности земли. Подсчеты производились по 8 румбам, причем остальные промежуточные направления были отброшены, хотя они и фигурируют в анемодрамах.

Результаты подсчетов приведены в табл. 6, в которой даны средние значения  $\lambda$  и  $V'$  для различных направлений ветра.



Черт. 1.

Таблица 6

Время суток	Направление ветра	„Лето“ (V—X)					„Зима“ (XII—III)				
		$\lambda_+$	$\lambda_-$	$\lambda$	$V'$	(n)	$\lambda_+$	$\lambda_-$	$\lambda$	$V'$	(n)
Утро (4—7 <sup>ч</sup> )	N . . . . .	129	105	234	172	(123)	67	53	120	238	(62)
	NE . . . . .	128	118	246	154	(101)	94	76	170	195	(36)
	E . . . . .	147	125	272	145	(58)	112	77	189	142	(45)
	SE . . . . .	160	139	299	100	(79)	97	63	160	151	(54)
	S . . . . .	154	129	283	110	(138)	118	91	209	138	(103)
	SW . . . . .	138	120	258	128	(191)	97	73	170	157	(128)
	W . . . . .	152	143	295	124	(229)	100	80	180	205	(75)
NW . . . . .	150	123	273	140	(166)	96	76	172	172	(117)	
День (12—15 <sup>ч</sup> )	N . . . . .	96	98	194	120	(95)	48	37	85	279	(61)
	NE . . . . .	110	103	213	99	(180)	51	43	94	305	(55)
	E . . . . .	130	117	247	97	(122)	81	61	142	245	(41)
	SE . . . . .	133	119	252	80	(95)	107	71	178	212	(43)
	S . . . . .	130	115	245	89	(151)	83	70	153	191	(108)
	SW . . . . .	110	95	205	96	(131)	55	44	99	233	(102)
	W . . . . .	110	112	222	104	(122)	59	50	109	287	(88)
NW . . . . .	106	109	215	121	(218)	61	50	111	275	(87)	
Вечер (20—23 <sup>ч</sup> )	N . . . . .	126	117	243	204	(147)	54	35	89	383	(48)
	NE . . . . .	153	123	276	167	(150)	65	40	105	249	(39)
	E . . . . .	153	135	288	129	(162)	89	58	147	270	(42)
	SE . . . . .	148	127	275	131	(129)	108	71	179	244	(73)
	S . . . . .	141	123	264	123	(186)	98	67	165	207	(150)
	SW . . . . .	149	127	276	155	(125)	81	61	142	252	(109)
	W . . . . .	129	114	243	185	(173)	58	38	96	355	(59)
NW . . . . .	138	116	254	192	(218)	69	49	118	337	(99)	

Таблица 7

Направление ветра	„Лето“		„Зима“		Год	
	$\lambda$	$V'$	$\lambda$	$V'$	$\lambda$	$V'$
N . . . . .	224	165	98	300	161	232
NE . . . . .	245	140	123	250	184	195
E . . . . .	269	124	159	219	214	171
SE . . . . .	275	104	172	202	223	153
S . . . . .	264	107	176	179	220	143
SW . . . . .	246	126	137	214	191	170
W . . . . .	253	138	128	282	190	210
NW . . . . .	247	151	134	261	190	206

В табл. 7 приведены значения  $\lambda$  и  $V'$ , полученные из табл. 6 путем вычисления средних.

Таким образом, табл. 7 дает усредненную по времени суток зависимость  $\lambda$  и  $V'$  от направления ветра отдельно для теплого („лето“) и холодного („зима“) времени года, а также и для всего года в целом.

На черт. 1 изображены  $\lambda$ - и  $V'$ -розы ветров. Внутри каждой диаграммы проведен белый круг, радиус которого соответствует наименьшему значению  $\lambda$  или  $V'$ , приходящемуся на тот или иной румб; зачерненная кайма дает представление об отклонениях  $\lambda$  или  $V'$  от этого наименьшего значения.

Из таблиц и черт. 1 видно, что наименьшее значение  $\lambda$  и, соответственно, наибольшее значение  $V'$  наблюдаются при ветрах северных румбов. Максимум  $\lambda$  и минимум  $V'$  приходятся на ветры южных румбов (S или SE).

Характер зависимости электропроводности и поля от направления ветра не меняется ни в течение суток ни в течение года (табл. 6), причем в теплое время года эта зависимость выражена менее резко, нежели в холодное время, что хорошо видно из табл. 8, в которой приведены

Таблица 8

Относит. изменения	Холодное время года	Теплое время года	Весь год
$\frac{\lambda_S - \lambda_N}{\lambda_S}$	44%	15%	27%
$\frac{V'_N - V'_S}{V'_N}$	40%	35%	38%

относительные изменения  $\lambda$  и  $V'$ . При северо-западном ветре поле имеет более высокое значение, чем это следовало бы ожидать, исходя из величины электропроводности.

Изложенные факты становятся понятными если учесть, что северные ветры как раз характерны для арктических воздушных масс и что, в частности, при морском арктическом воздухе преобладают ветры от N до NW [12].

Таким образом зависимость  $\lambda$  и  $V'$  от направления ветра, выведенная

за продолжительный срок наблюдений, может считаться некоторым подтверждением в существенных чертах выводов относительно зависимости  $\lambda$  и  $V'$  от воздушных масс, сделанных раньше по сравнительно короткому периоду наблюдений. Особенностью является то, что при S и SE ветрах, приносящих воздух с континента, мы наблюдаем заметно более высокую электропроводность, чем при ветрах западных румбов, соответствующих в общем морским массам — явление, которое при непосредственном сопоставлении  $\lambda$  и  $V'$  с воздушными массами не обнаруживается.

Здесь, возможно, играет роль то обстоятельство, что для выяснения связи между направлением ветра и  $\lambda$  и  $V'$  были использованы только „нормальные“ дни, т. е. дни, относящиеся к погоде определенного типа, очевидно, преимущественно антициклонального. Следует еще отметить, что при NW, а отчасти и при W ветрах наблюдаются часто наряду с очень низкими и очень высокие значения  $\lambda$ ; такие же колеблющиеся значения дает и  $V'$ . Возможное объяснение этого явления будет рассмотрено в следующем параграфе.

Само собой разумеется, что синоптическое значение сопоставления элементов атмосферного электричества с направлением ветра понижается влиянием местных причин. В нашем случае искажающим местным фактором может служить наличие в 30 км к северу от места наблюдений крупного индустриального города — Ленинграда. Из других источников неизбежного загрязнения воздуха, оказавших, может быть, известное влияние на значения  $\lambda$  и  $V'$ , следует указать на Ижорский механический завод, расположенный в 10 км к NE и две бумажные фабрики в 8 км к SSW.

### § 3. $\lambda$ и $V'$ в связи с трансформацией воздушных масс

Следует думать, что более полное и точное представление об электрических свойствах различных воздушных масс можно получить путем изучения тех изменений в электрическом состоянии атмосферы, которые происходят в связи с трансформацией воздушных масс. По этим соображениям интересно сопоставить  $\lambda$  и  $V'$  с воздушными массами различной

Таблица 9

Воздушная масса	Среднее за сутки			Среднее за 0—1 <sup>h</sup>			Среднее за 7—8 <sup>h</sup>			Среднее за 12—13 <sup>h</sup>			Среднее за 19—20 <sup>h</sup>							
	$\lambda_+$	$\lambda$	$\lambda_-$	$V'$	$(n)$	$\lambda_+$	$\lambda$	$\lambda_-$	$V''$	$(n)$	$\lambda_+$	$\lambda$	$\lambda_-$	$V''$	$(n)$	$\lambda_+$	$\lambda$	$\lambda_-$	$V''$	$(n)$
MPL <sub>0</sub>	191	124	(97)	225	122	(62)	193	123	(68)	190	100	(87)	190	160	(88)	190	160	(88)	160	(88)
MPL <sub>1</sub>	192	138	(213)	222	124	(187)	187	139	(173)	184	104	(206)	184	145	(200)	184	145	(200)	145	(200)
CAL <sub>0</sub>	100	225	(20)	119	252	(11)	94	196	(12)	96	176	(17)	96	283	(14)	73	283	(14)	73	(14)
CAL <sub>1</sub>	137	188	(42)	146	226	(41)	145	154	(30)	128	139	(41)	128	226	(36)	117	226	(36)	117	(36)
MAL <sub>0</sub>	177	156	(62)	205	142	(54)	185	141	(40)	165	122	(56)	165	171	(58)	171	164	(58)	171	(58)
MAL <sub>1</sub>	149	197	(70)	190	175	(78)	131	184	(62)	144	170	(71)	144	206	(85)	168	206	(85)	168	(85)

Таблица 10

Воздушная масса	Среднее за сутки			Среднее за 0—1 <sup>h</sup>			Среднее за 7—8 <sup>h</sup>			Среднее за 12—13 <sup>h</sup>			Среднее за 19—20 <sup>h</sup>												
	$\lambda_+$	$\lambda$	$\lambda_-$	$V'$	$(n)$	$\lambda_+$	$\lambda$	$\lambda_-$	$V''$	$(n)$	$\lambda_+$	$\lambda$	$\lambda_-$	$V''$	$(n)$	$\lambda_+$	$\lambda$	$\lambda_-$	$V''$	$(n)$					
MPL <sub>0</sub>	103	88	191	124	(97)	116	109	225	122	(62)	100	193	123	(68)	100	190	100	(87)	100	100	(87)				
MPL <sub>1</sub>	95	89	184	137	(119)	117	100	217	138	(103)	107	85	192	133	(87)	86	82	168	106	(105)	83	177	155	(109)	
MPL <sub>2</sub>	106	97	203	132	(94)	120	108	228	144	(84)	95	88	183	144	(86)	103	98	201	103	(101)	104	91	195	134	(91)
CAL <sub>0</sub>	53	47	100	225	(20)	57	52	119	252	(11)	46	48	94	196	(12)	50	46	96	176	(17)	40	33	73	283	(14)
CAL <sub>1</sub>	70	60	130	224	(22)	78	63	141	278	(23)	75	81	156	168	(16)	66	71	137	151	(24)	59	48	107	284	(21)
CAL <sub>2</sub>	80	64	144	139	(20)	95	59	154	163	(18)	66	59	125	131	(14)	64	52	116	125	(17)	73	60	133	158	(15)
MAL <sub>0</sub>	93	84	177	156	(62)	110	95	205	142	(54)	97	88	185	141	(40)	86	79	165	122	(56)	90	81	171	164	(58)
MAL <sub>1</sub>	70	56	126	216	(47)	92	77	169	176	(55)	56	40	96	285	(43)	60	55	115	187	(45)	77	65	142	230	(58)
MAL <sub>2</sub>	106	106	212	157	(23)	112	125	237	171	(23)	105	106	211	125	(19)	97	95	192	140	(26)	118	103	221	154	(27)

Таблица 11

Месяцы	Воздушная масса	Среднее за сутки			Среднее за 0—1 <sup>h</sup>			Среднее за 7—8 <sup>h</sup>			Среднее за 12—13 <sup>h</sup>			Среднее за 19—20 <sup>h</sup>		
		$\lambda$	$V'$	(n)	$\lambda$	$V'$	(n)	$\lambda$	$V'$	(n)	$\lambda$	$V'$	(n)	$\lambda$	$V'$	(n)
XII I II III	MPL <sub>0</sub>	165	148	(38)	209	170	(35)	147	134	(29)	132	149	(34)	145	222	(27)
	MPL <sub>1</sub>	148	156	(33)	173	138	(33)	138	133	(35)	111	149	(40)	128	212	(31)
	MPL <sub>2</sub>	147	162	(24)	167	146	(21)	126	153	(20)	130	151	(18)	129	204	(19)
	CAL <sub>0</sub>	62	298	(8)	72	234	(7)	71	171	(6)	94	229	(8)	36	376	(8)
	CAL <sub>1</sub>	111	244	(21)	109	277	(19)	115	156	(16)	122	170	(17)	84	318	(15)
	CAL <sub>2</sub>	145	204	(30)	172	195	(21)	141	253	(16)	122	216	(23)	125	227	(19)
V VI VII VIII IX	MAL <sub>0</sub>	96	293	(19)	136	205	(19)	70	239	(18)	72	281	(19)	87	354	(15)
	MAL <sub>1</sub>	116	246	(7)	120	214	(5)	119	188	(6)	108	309	(6)	120	318	(4)
	MAL <sub>2</sub>	223	105	(43)	253	109	(29)	222	116	(38)	217	74	(43)	216	116	(45)
V VI IX	MPL <sub>0</sub>	214	121	(58)	248	118	(45)	209	131	(56)	202	82	(66)	210	123	(63)
	MPL <sub>1</sub>	217	120	(53)	256	150	(43)	200	152	(50)	214	91	(70)	208	123	(57)
	MPL <sub>2</sub>	216	110	(22)	228	129	(21)	232	118	(20)	190	92	(24)	209	132	(29)
V VI IX	MAL <sub>0</sub>	177	132	(20)	214	129	(17)	158	153	(19)	154	105	(20)	172	162	(20)
	MAL <sub>1</sub>	241	114	(11)	292	112	(12)	257	120	(9)	223	82	(12)	259	123	(13)
	MAL <sub>2</sub>	216	114	(11)	292	112	(12)	257	120	(9)	223	82	(12)	259	123	(13)

степени свежести. Результаты такого рода сопоставления приведены в табл. 9, где индексом  $\sigma_0$  обозначены массы, не более 3 суток соприкасавшиеся с континентом (учитывая не только время пребывания данной массы над территорией места наблюдений, но и время, затраченное ею на путь над континентом). Массы, соприкасавшиеся с континентом более 3 суток, помечены штрихом.

Из табл. 9 видно, что свежий морской арктический воздух дает более высокие значения электропроводности, нежели этот же воздух, несколько потерявший свои первоначальные свойства. Обратная картина наблюдается при континентальном арктическом воздухе, свежести которого соответствуют наиболее низкие значения электропроводности.

Можно попытаться пойти еще дальше и разделить воздушные массы на три категории по степени свежести. В табл. 10 индексом  $\sigma_0$  обозначены, как и раньше, наиболее свежие массы; индексом  $\sigma_2$  — воздух значительно состарившийся, обозначаемый обычно на картах как „прежний“ или „прогретый“; индексу  $\sigma_1$  соответствуют массы, так сказать, средней старости.

Из табл. 10 видно, что массы морского арктического воздуха трех степеней свежести заметно отличаются друг от друга значениями  $\lambda$  и  $V'$ , а именно: сравнительно высокие значения  $\lambda$  наблюдаются при свежем морском арктическом воздухе, затем со старением этого воздуха электропроводность сильно падает и, наконец, вновь растет, принимая очень высокие значения, с прогрессивным воздушной массы. Этот ход  $\lambda$ , как видно из табл. 10 и 11,

не меняется в качественном отношении ни в течение года ни в течение суток, хотя в холодное время года эффект прогревания выражен, как и следовало ожидать, слабее. Ход  $V'$  в большинстве случаев обратен ходу  $\lambda$ .

При морских полярных массах со старением воздуха намечается такой же ход  $\lambda$  и  $V'$ , что и при морском арктическом воздухе, только значительно менее резко выраженный. Эффект прогревания MPL не заметен в холодное время года, а в теплое время, повидимому, имеет место не в любое время суток (табл. 11). Для континентального арктического воздуха наблюдается постепенный и, повидимому, непрерывный рост  $\lambda$  и падение  $V'$  со старением воздушной массы. Понижение  $\lambda$  при CAL<sub>2</sub> для некоторых сроков (табл. 10) могло получиться случайно из-за слишком малого числа данных. Для теплого времени года ход  $\lambda$  и  $V'$  со старением CAL вообще не удалось проследить за неимением достаточного числа данных.

Для подтверждения изложенных выводов были отобраны случаи, когда какая-либо данная воздушная масса по меньшей мере в течение трех суток со дня прихода оставалась над территорией места наблюдений, причем за все эти трое суток можно было вычислять средние суточные значения  $\lambda$  и  $V'$ , благодаря достаточно надежной, без существенных пропусков, записи. Число таких случаев оказалось не таким уже большим.

Все эти случаи были распределены по воздушным массам, определенным по дню прихода и по характеру хода  $\lambda$ , определенному по средним суточным значениям. В результате получилась табл. 12.

Как видно, при приходе MAL<sub>0</sub> в подавляющем большинстве случаев наблюдаются сначала высокие значения  $\lambda$ , затем падение электропроводности и, наконец, вновь возрастание (14 случаев из 18). Такой же ход  $\lambda$  наблюдается в большинстве случаев и при приходе MPL<sub>0</sub>. При приходе MPL' преобладает постепенное возрастание  $\lambda$ . Картина получается особенно ясной, если допустить, что кривая постепенного убывания представляет первую половину кривой, обращенной выпуклостью вниз, а кривая постепенного возрастания — вторую половину той же кривой. Для континентального полярного воздуха нельзя отметить какого-либо преобладающего характера хода  $\lambda$ .

На основании отобранных, как указано выше, случаев можно дать и количественную характеристику хода  $\lambda$  и  $V'$  с трансформацией воздушных масс.

В табл. 13 приведены средние разности между значениями  $\lambda$  в данные сутки после прихода и значениями  $\lambda$  в сутки прихода той или иной воз-

Таблица 12

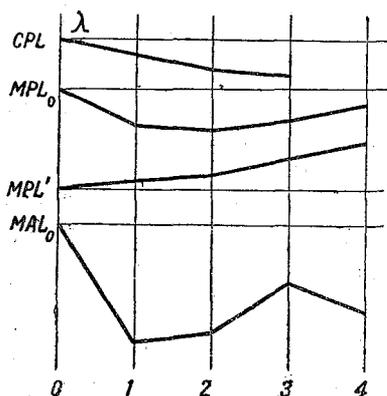
Характер хода $\lambda$	Воздушная масса			
	GPL	MPL <sub>0</sub>	MPL'	MAL <sub>0</sub>
	Число случаев			
	3	11	1	14
	2	3	1	3
	3	3	2	1
	1	5	4	—
	—	1	1	—
Всего случаев . . . . .	9	23	9	18

Таблица 13

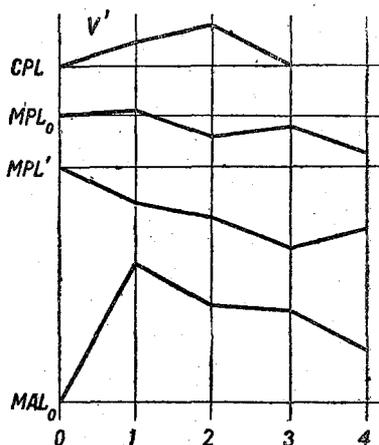
Воздушная масса	День после прихода				
	0	1	2	3	4
CPL $\left\{ \begin{array}{l} \Delta \lambda \dots\dots\dots \\ (n) \dots\dots\dots \end{array} \right.$	0 (9)	-9 (9)	-18 (9)	-21 (5)	— —
MPL <sub>0</sub> $\left\{ \begin{array}{l} \Delta \lambda \dots\dots\dots \\ (n) \dots\dots\dots \end{array} \right.$	0 (24)	-21 (24)	-24 (24)	-18 (12)	-8 (8)
MPL' $\left\{ \begin{array}{l} \Delta \lambda \dots\dots\dots \\ (n) \dots\dots\dots \end{array} \right.$	0 (9)	+7 (9)	+10 (9)	+19 (8)	+26 (6)
MAL <sub>0</sub> $\left\{ \begin{array}{l} \Delta \lambda \dots\dots\dots \\ (n) \dots\dots\dots \end{array} \right.$	0 (18)	-70 (18)	-62 (18)	-34 (10)	-50 (7)

душной массы ( $\Delta\lambda$  = электропроводность в  $i$ -ые сутки после прихода воздушной массы минус электропроводность в сутки прихода воздушной массы). На черт. 2 данные табл. 13 изображены графически.

Последние таблицы и чертежи подтверждают выводы, сделанные выше. Из них видно какое сильное изменение испытывает электропроводность воздуха при переходе от свежего морского арктического воздуха к тому же воздуху, несколько застоявшемуся. Возможно, что этим именно и объясняются те резкие колебания  $\lambda$  при северо-западных ветрах, о которых упоминалось выше. Здесь же можно отметить, что поле при MAL<sub>1</sub> подчас принимает очень высокие значения и носит весьма беспокойный характер.



Черт. 2.



Черт. 3

На черт. 3, составленном аналогично черт. 2, представлен ход  $V'$  со старением воздушных масс.

Постепенное уменьшение, полученное для  $\lambda$  при CPL (черт. 2), по всей вероятности, не имеет физического смысла. К такому заключению можно прийти, если учесть данные табл. 12.

#### § 4. $\lambda$ и $V'$ при смене воздушных масс

При всем интересе, который представляет исследование изменений электрического состояния атмосферы, сопровождающих смену одних воз-

душных масс другими, практически такое исследование наталкивается на известные трудности. Прохождение фронтов в большинстве случаев сопровождается осадками, поэтому регистрация  $\lambda$  становится невозможной, а для поля получаются искаженные значения. Лишь в ограниченном числе случаев удается точно и полностью проследить ход  $\lambda$  и  $V'$  в самый момент прохождения фронта, причем часть этих случаев естественно относится к фронтам, сравнительно слабо выраженным. Особенно плохо в этом отношении обстоит дело с теплыми фронтами.

Табл. 14 дает представление о характере изменений электропроводности при прохождении фронтов:

Таблица 14

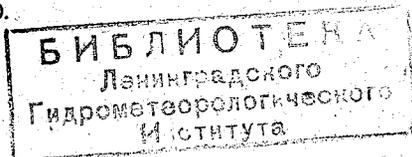
Характер хода $\lambda$	Фронты		
	WF	KF	OF
	Число случаев		
$\angle$	7	0	2
$\nearrow$	4	5	6
$\nearrow \phi$	15	17	22
$\searrow$	2	6	9
$\searrow \nearrow$	0	13	15
$\phi$	0	31	16
0	8	15	33
Всего случаев . . .	36	87	103

Значение символов, примененных в таблице, следующее:

- $\angle$  — резкое увеличение электропроводности в самый момент прохождения фронта
- $\nearrow$  — резкое увеличение, которое сохраняется и в последующих средних суточных значениях
- $\nearrow \phi$  — увеличение, не носящее характер резкого скачка, но отражающееся на последующих средних суточных значениях
- $\searrow$   
 $\searrow \nearrow$   
 $\phi$  — соответствующие случаи уменьшения  $\lambda$
- 0 — электропроводность осталась без заметных изменений.

Из табл. 14 видно, что прохождение теплого фронта, как правило, сопровождается увеличением электропроводности. Прохождение холодного фронта в большинстве случаев вызывает уменьшение  $\lambda$ , но далеко не всегда, что вполне понятно, если учесть высокие значения  $\lambda$  при МАL<sub>0</sub>.

Прохождение фронта окклюзии во многих случаях совсем не отражается на электропроводности, а остальные случаи дают как повышение, так и понижение  $\lambda$ . Последнее обстоятельство несомненно объясняется тем, что фронты окклюзии нами не были распределены по характеру холодных и теплых фронтов. Число скачкообразных изменений  $\lambda$  при прохождении фронтов сравнительно невелико, но это возможно объясняется



766581

трудностью определения истинного хода  $\lambda$  при прохождении фронта, о чем упоминалось выше.

Не подлежит сомнению, что характер изменений  $\lambda$  и  $V'$  определяется полностью не самим фактом прохождения того или иного фронта, а существенно зависит от природы сменяющихся воздушных масс.

Таблица 15

Воздушные массы		Сменяющий воздух									
		CPL	MPL <sub>0</sub>	MPL <sub>1</sub>	MPL <sub>2</sub>	CAL <sub>0</sub>	CAL <sub>1</sub>	CAL <sub>2</sub>	MAL <sub>0</sub>	MAL <sub>1</sub>	MAL <sub>2</sub>
Сменяемый воздух	CPL . . . . .	×	15/9	4/6	5/10	1/2	1/3	0/1	9/5	1/1	—
	MPL <sub>0</sub> . . . . .	3/4	×	18/30	3/6	0/3	—	—	1/6	—	—
	MPL <sub>1</sub> . . . . .	9/3	11/9	×	11/4	0/2	0/1	—	2/5	—	—
	MPL <sub>2</sub> . . . . .	19/6	5/5	—	×	1/1	—	—	2/1	—	0/2
	CAL <sub>0</sub> . . . . .	1/0	—	—	1/0	×	7/1	1/1	—	—	—
	CAL <sub>1</sub> . . . . .	5/2	4/0	—	—	—	×	1/1	1/0	1/0	—
	CAL <sub>2</sub> . . . . .	3/0	1/0	—	—	0/1	0/1	×	2/0	—	—
	MAL <sub>0</sub> . . . . .	3/5	—	3/2	2/0	—	—	×	×	7/23	0/2
	MAL <sub>1</sub> . . . . .	8/3	4/1	2/0	—	0/1	—	—	4/1	×	7/1
	MAL <sub>2</sub> . . . . .	6/4	1/1	1/1	—	0/1	—	—	1/0	—	×

Таблица 16

Воздушные массы		Сменяющий воздух									
		CPL	MPL <sub>0</sub>	MPL <sub>1</sub>	MPL <sub>2</sub>	CAL <sub>0</sub>	CAL <sub>1</sub>	CAL <sub>2</sub>	MAL <sub>0</sub>	MAL <sub>1</sub>	MAL <sub>2</sub>
Сменяемый воздух	CPL . . . . .	×	13/19	5/7	14/8	1/1	4/1	2/0	6/16	2/0	2/0
	MPL <sub>0</sub> . . . . .	5/3	×	32/17	5/6	2/2	—	—	8/3	1/2	—
	MPL <sub>1</sub> . . . . .	6/14	11/13	×	10/16	3/0	1/0	—	5/2	—	—
	MPL <sub>2</sub> . . . . .	10/18	9/4	0/1	×	1/0	—	—	2/4	—	2/0
	CAL <sub>0</sub> . . . . .	0/1	—	—	0/1	×	2/4	0/2	—	—	—
	CAL <sub>1</sub> . . . . .	2/5	0/1	—	—	—	×	1/2	—	—	—
	CAL <sub>2</sub> . . . . .	1/4	—	—	—	—	—	×	—	—	—
	MAL <sub>0</sub> . . . . .	2/5	1/0	1/3	0/2	—	1/0	—	×	27/11	1/1
	MAL <sub>1</sub> . . . . .	3/5	1/2	0/1	—	2/0	—	—	4/4	×	7/8
	MAL <sub>2</sub> . . . . .	3/6	1/1	1/1	—	1/0	—	—	0/1	—	×

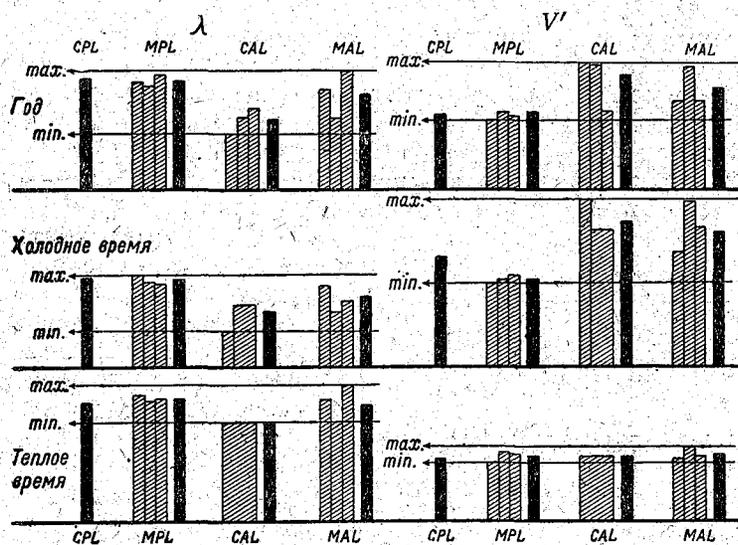
Табл. 15 и 16, построенные по принципу турнирной доски, дают представление об изменениях  $\lambda$  и  $V'$  при смене различных воздушных масс. Числители дробей, приведенных в таблицах, дают число случаев, когда сменяющий воздух (горизонтальная строка) вызывал повышение  $\lambda$  (табл. 15) или  $V'$  (табл. 16) по сравнению со сменяемым воздухом (вертикальный столбец). Знаменатели дробей дают число аналогичных случаев понижения  $\lambda$  или  $V'$ . Изменения  $\lambda$  и  $V'$  определены в основном по средним суточным значениям этих элементов. Само собой разумеется, что в таблицах учтены не только те случаи, когда смена масс воздуха происходила в результате прохождения фронта, но и случаи изменения свойств воздуха в результате перерождения.

Заметим предварительно, что данные табл. 15 и 16 не противоречат в принципе тем выводам, которые сделаны были ранее. Изменения  $V'$  (табл. 16) дают несколько менее отчетливую картину, чем изменения  $\lambda$  (табл. 15). Возможно, это объясняется тем, что поле вообще является более сложным элементом, зависящим от большего числа факторов, нежели электропроводность.

## § 5. Описание электрических свойств различных воздушных масс

Суммируя выводы, сделанные выше, попытаемся дать описание электрических свойств различных воздушных масс, поскольку, конечно, эти свойства определяются значениями электропроводности воздуха и напряженности электрического поля в атмосфере. Понятно также, что описание, которое может быть здесь дано, не претендует на абсолютную непогрешимость и полноту.

Для наглядности на черт. 4 представлены средние значения  $\lambda$  и  $V'$  для различных воздушных масс, вычисленные по средним суточным значениям этих элементов. Зачерненные прямоугольники относятся к той или иной воздушной массе в целом, без учета степени свежести. Заштрихованные прямоугольники изображают  $\lambda$  и  $V'$  для степеней свежести 0, 1, 2 (по порядку слева направо).



Черт. 4.

На основании всех выводов, сделанных ранее, а также принимая во внимание табл. 15 и 16 и черт. 4, можно прийти к следующему заключению об электрических свойствах различных воздушных масс:

(D) CAL — характеризуется вообще наиболее низкими значениями электропроводности по сравнению с другими воздушными массами. Приход континентального арктического воздуха, как правило, сопровождается заметным понижением  $\lambda$ , которое (понижение) часто носит характер резкого скачка. Самые низкие значения  $\lambda$  дает свежий континентальный арктический воздух; с трансформацией этого воздуха  $\lambda$  постепенно растет. К теплоте времени года  $\lambda$  для CAL возрастает относительно сильнее, чем для полярных воздушных масс.

MAL — отличается сравнительно высокими значениями электропроводности, когда он свежий. Приход свежего, морского, арктического воздуха часто сопровождается повышением  $\lambda$  (например, когда он приходит на смену континентальному полярному воздуху). Со старением воздушной массы  $\lambda$  сначала резко падает, достигая очень низких значений, а затем с прогреванием воздуха снова растет, достигая в теплое время года в среднем столь высоких значений, как ни при какой другой воздушной массе. Поле при морском арктическом воздухе имеет несоразмерно высо-

кие значения, при сопоставлении их с величиной  $\lambda$ . К теплоте времени года  $\lambda$  для MAL возрастает относительно сильнее, чем для полярных воздушных масс.

MPL — по средним значениям электропроводности мало отличается от континентального полярного воздуха. У свежего морского полярного воздуха замечается тенденция давать более высокие значения электропроводности. При приходе свежего морского полярного воздуха в большинстве случаев наблюдается повышение электропроводности. С трансформацией воздушной массы  $\lambda$  сначала падает, потом с прогреванием опять растет, но этот ход  $\lambda$  выражен слабо.

CPL — отличается вообще высокими средними значениями электропроводности. В отдельных случаях значения электропроводности меняются в ту или другую сторону в зависимости от характера происхождения континентального полярного воздуха (от его предыдущей истории).

Поведение поля ( $V'$ ) во всех случаях, как правило, имеет характер обратный ходу электропроводности.

Выводы, касающиеся континентального полярного, воздуха подтверждаются следующими данными. В табл. 17 приведены  $\lambda$  и  $V'$  для континентального полярного воздуха различного происхождения, вычисленные по средним суточным значениям за холодное время года. Смысл обозначений следующий: CPL<sub>MP</sub>, CPL<sub>MA</sub>, CPL<sub>CA</sub> — континентальный полярный воздух, получившийся в результате перерождения соответственно: морского полярного, морского арктического и континентального арктического воздуха.

Таблица 17

Воздух	$\lambda$	$v$	( $n$ )
CPL <sub>H</sub> . . . . .	205	163	(12)
CPL <sub>MP</sub> . . . . .	166	190	(23)
CPL <sub>MA</sub> . . . . .	161	222	(17)
CPL <sub>CA</sub> . . . . .	131	237	(8)

CPL<sub>H</sub> — континентальный полярный воздух, господствующий в районе наблюдений, когда последний находится в северо-западной четверти устойчивого антициклона, с центром, расположенным в средней части европейской территории СССР, либо дальше к востоку или юго-востоку.

Из табл. 17 видно, что континентальный полярный воздух, получившийся в результате трансформации той или иной воздушной массы,

несет в себе известные следы электрических свойств этой воздушной массы. CPL<sub>H</sub>, являющийся воздухом ярко выраженного континентального происхождения, дает наибольшие значения электропроводности и наименьшие значения поля. Возможно, что последним обстоятельством и объясняются высокие значения  $\lambda$  при южных ветрах, найденные выше для нормальных дней.

Для иллюстрации выводов ( $D$ ) уместно рассмотреть некоторые наиболее характерные частные случаи. В помещенных ниже чертежах кривые  $t$  и  $B$ , дающие ход температуры и давления, построены на основании записей соответствующих самописцев. Заштрихованными полосами выделено время с осадками, определенное по записям омбрографа Метеорологического института Главной геофизической обсерватории.

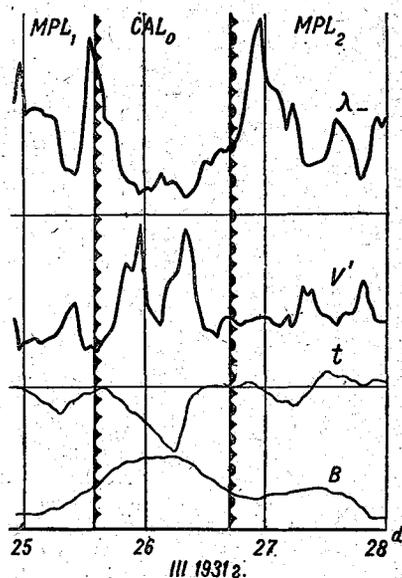
Черт. 5, 6 и 7 относятся к случаям прихода континентального арктического воздуха. Черт. 5 изображает ход электропроводности и поля при прорыве арктического воздуха, имевшем место в конце марта 1931 г. После прохождения холодного фронта  $\lambda$  резко упало, и низкие значения электропроводности продержались в течение всего, в данном случае краткого, времени пребывания континентального арктического воздуха. После смены CAL прогреваем морским полярным воздухом  $\lambda$  возросло.

Особенный интерес представляет случай прихода свежего континен-

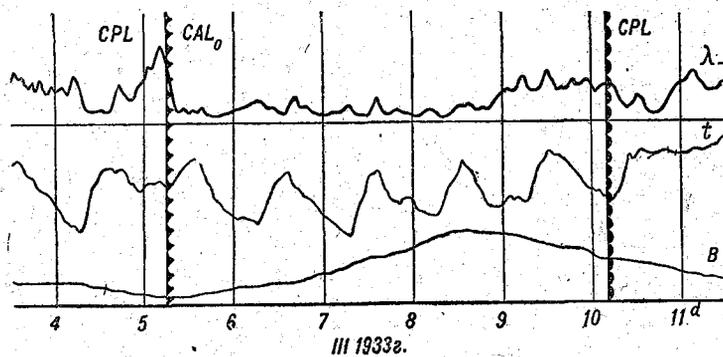
тального арктического воздуха, имевший место в начале марта 1933 г. (черт. 6). При прохождении холодного фронта электропроводность понизилась резким скачком, в то время как на температурной кривой прохождение фронта совершенно не отразилось. В течение продолжительного времени пребывания CAL (в течение 5 суток) господствовали исключительно низкие значения  $\lambda$ . Поле при этом имело очень высокие значения. Лишь 9 марта  $\lambda$  возросло в результате старения воздуха.

На черт. 7 изображен случай прихода  $CAL_1$  в начале декабря 1931 г. При прохождении холодного фронта  $\gamma$  резко упало, в то время как температурного скачка не наблюдалось. В дальнейшем  $\lambda$  постепенно растет со старением воздуха.

Черт. 8, 9 и 10 относятся к случаям пребывания морского арктического воздуха. Особенно интересен случай, имевший место в конце сентября 1931 г. (черт. 9), когда последовательно проходили различные порции MAL. После прохождения холодного фронта (приход свежего морского арктического воздуха) электропроводность повысилась. Высокие значения  $\lambda$  держались примерно в течение суток. Части кривой, проходящие в промежутках времени с осадками, проведены через точки, полученные в результате отдельных измерений в перерывах между осадками, не носившими спокойного непрерывного характера. В течение следующих двух суток  $\lambda$  имеет на много пониженные значения.



Черт. 5.



Черт. 6.

Но вечером 18 сентября приходит новая порция свежего морского арктического воздуха. В результате электропроводность возрастает, с тем чтобы в дальнейшем вновь понизиться со старением воздуха и вновь начать расти, уже с прогреванием воздушной массы.

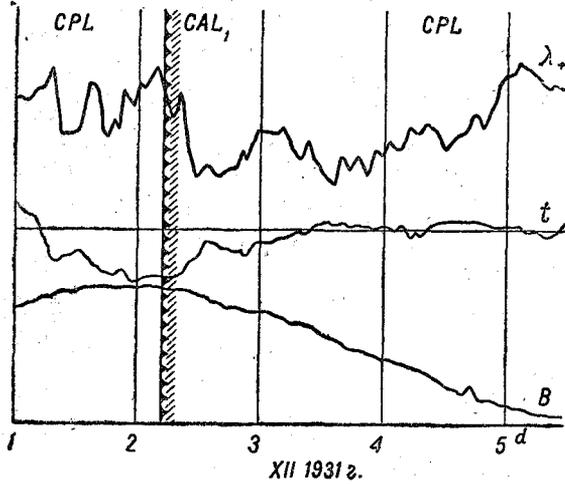
На черт. 8 изображен случай прихода  $MAL_0$ , имевший место в феврале 1934 г. По кривой видно убывание  $\lambda$  со старением воздуха.

Черт. 10 иллюстрирует высокие значения  $\lambda$  и неспокойный ход поля при  $MAL_1$ ; видно также резкое убывание  $\lambda$  при переходе от  $MAL_0$  к  $MAL_1$ .

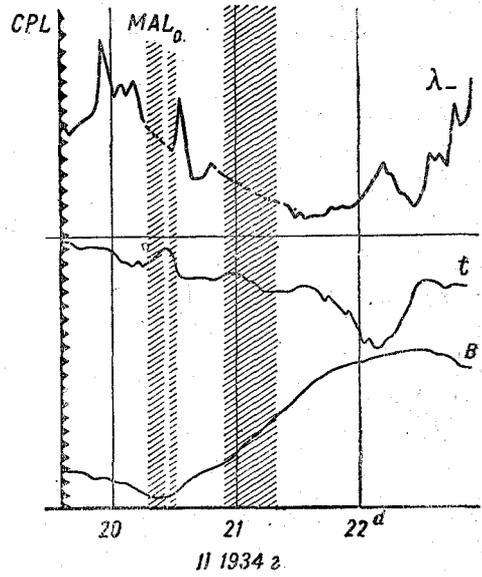
Черт. 11 изображает случай прихода свежего морского полярного

воздуха (конец июня 1931 г.) По кривой можно заметить тенденцию электропроводности к понижению со старением воздуха и возрастанию с последующим прогреванием воздушной массы.

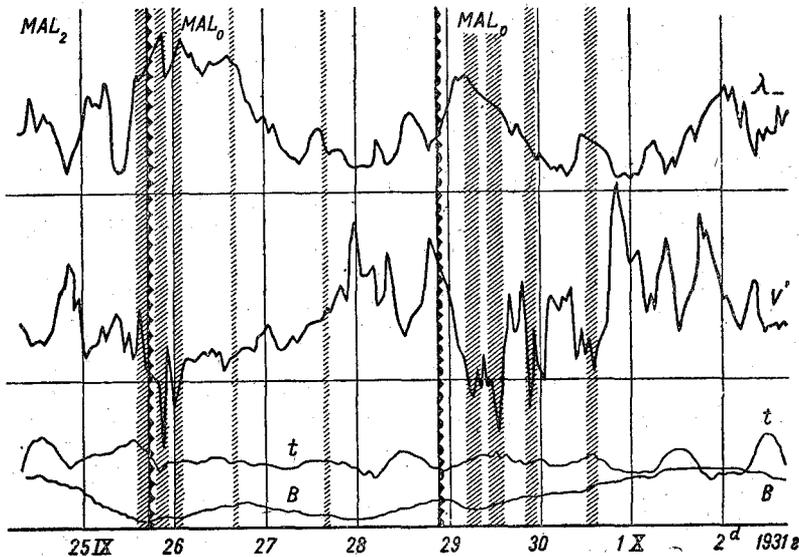
На черт. 12 изображен случай резкого изменения электропроводности



Черт. 7.



Черт. 8.



Черт. 9.

при прохождении фронта (замена континентального полярного воздуха на прогретый морской полярный воздух).

В рассмотренных примерах преимущественно ход отрицательной проводимости  $\lambda_-$ , так как отрицательная проводимость дает обычно более резко выраженные колебания, нежели  $\lambda_+$ . Любопытно, на-

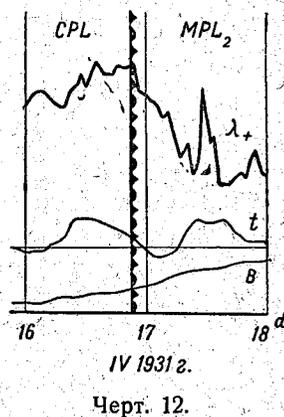
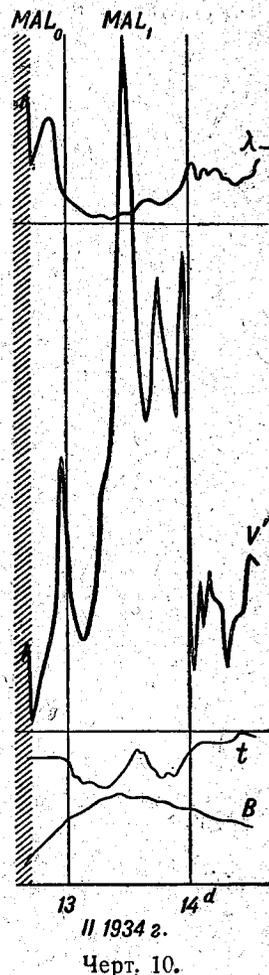
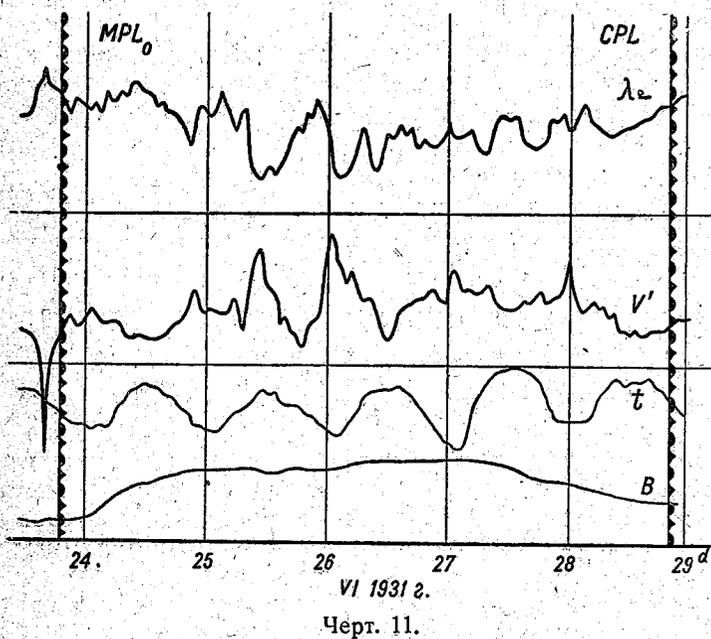
конец, отметить, что в рассмотренных примерах в редких случаях можно обнаружить нормальный суточный ход  $\lambda$  и  $V'$ , перекрывающийся гораздо более мощными неперiodическими колебаниями, вызванными, очевидно, динамическими процессами в атмосфере.

### § 6. $\lambda$ и $V'$ в связи с барическими образованиями

В табл. 18 даны средние значения  $\lambda$  и  $V'$  в 7<sup>h</sup>, вычисленные для различных четвертей циклона и антициклона. Счет четвертей ведется от NE-четверти против часовой стрелки (см. черт. 13, изображающий числа табл. 18 графически).

Из табл. 18 следует, что западная часть циклона характеризуется более низкими значениями  $\lambda$  (четверти II, III), нежели восточная часть (четверти I, IV). Для антициклона имеем обратную картину — более высокую электропроводность в западной половине и низкую — в восточной. Особенно низкие значения  $\lambda$  получились для северо-западной части (II) циклона, в то время как в юго-западной четверти (III) электропроводность заметно выше. При антициклоне вообще  $\lambda$  в среднем ниже, чем при циклоне. Зависимость поля от четвертей  $\text{min}$  и  $\text{max}$  в большинстве случаев обратна зависимости электропроводности.

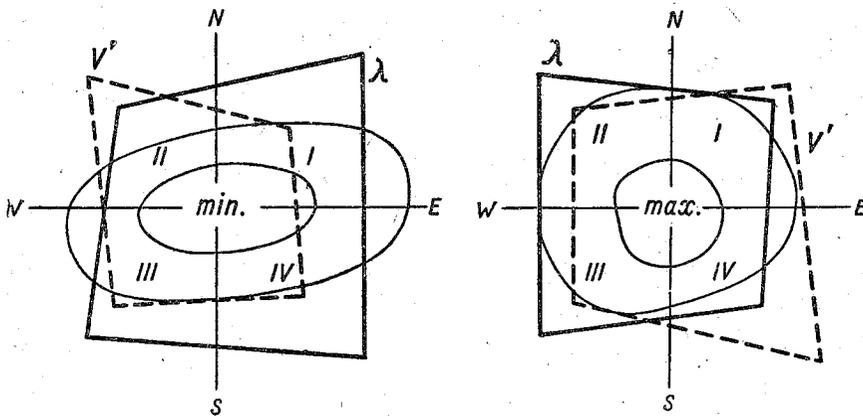
В табл. 19 приведены средние электропроводность и поле для различных четвертей  $\lambda$  и  $V'$ , вычисленные по средним суточным значениям. Как



видно, указанная выше зависимость  $\lambda$  и  $V'$  от квадрантов  $\text{min}$  и  $\text{max}$  сохраняется и при таком способе подсчета. Полученные нами результаты

Таблица 18

Элементы	Циклон					Антициклон				
	I	II	III	IV	Среднее	I	II	III	IV	Среднее
$\lambda_+$ . . . . .	115	70	97	111	98	80	101	95	72	87
$\lambda_-$ . . . . .	102	68	88	105	91	69	85	89	62	76
$\lambda$ . . . . .	217	138	185	216	189	149	186	184	134	163
$V'$ . . . . .	107	179	143	126	139	168	135	136	218	164
$(n)$ . . . . .	(41)	(60)	(102)	(97)	(300)	(55)	(81)	(42)	(29)	(207)



Черт. 13.

совпадают с результатами Маркграфа [7], выведенными по наблюдениям в Потсдаме.

В табл. 20 приведено число случаев нахождения той или иной воздушной массы в различных четвертях циклона и антициклона в 1931—1934 гг. по данным за 7<sup>h</sup> (взяты все случаи, в том числе и те, когда значения  $\lambda$  отсутствовали).

Таблица 19

Элементы	Циклон				Антициклон			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
$\lambda$ . . . . .	220	161	192	193	162	192	192	160
$V'$ . . . . .	107	155	142	112	178	136	102	189
$(n)$ . . . . .	(72)	(99)	(149)	(128)	(72)	(115)	(54)	(44)

Пользуясь числами табл. 20, 10 и 9, можно вычислить те значения электропроводности для различных квадрантов min и max, которые имели бы место, если бы зависимость  $\lambda$  от циклонов и антициклонов была обусловлена одним лишь распределением воздушных масс. С другой стороны, пользуясь имеющимися значениями  $\lambda$  для различных квадрантов min и max, можно вычислить  $\lambda$  и для различных воздушных масс.

В табл. 21 через  $\lambda'$  обозначены такие вычисленные значения электропроводности, причем для сравнения приведены и значения  $\lambda$ , взятые из табл. 9, 10 и 18.

Таблица 20

Воздушная масса	Циклон				Антициклон			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
CPL . . . . .	45	19	16	46	20	80	38	18
MPL <sub>0</sub> . . . . .	5	13	54	30	7	4	2	2
MPL' . . . . .	21	30	65	68	20	29	4	4
CAL <sub>0</sub> . . . . .	1	5	1	2	1	1	2	4
CAL' . . . . .	2	7	1	1	3	10	8	4
MAL <sub>0</sub> . . . . .	2	20	27	3	9	3	—	6
MAL <sub>1</sub> . . . . .	4	23	12	5	13	—	3	5
MAL <sub>2</sub> . . . . .	4	6	6	5	2	9	2	1
Всего случаев . .	84	123	182	160	75	136	59	44

Таблица 21

Элементы	Циклон				Антициклон			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
$\lambda$	217	138	185	216	149	186	184	134
$\lambda'$	179	164	182	183	168	181	171	162

Элементы	CPL	MPL <sub>0</sub>	MPL'	CAL <sub>0</sub>	CAL'	MAL <sub>0</sub>	MAL <sub>1</sub>	MAL <sub>2</sub>
$\lambda$	181	193	187	94	145	185	96	211
$\lambda'$	186	186	187	163	170	165	162	182

Как видно, вычисленные  $\lambda$  дают картину в качественном отношении более или менее близкую к действительности. Совпадение, однако, не настолько велико, чтобы различия в значениях электропроводности для различных квадрантов можно было бы целиком отнести за счет распределения воздушных масс. В последнем нетрудно убедиться, если вычислить средние  $\lambda$  и  $V'$  для различных квадрантов  $\text{min}$  и  $\text{max}$  по каждой воздушной массе в отдельности.

Из табл. 22 видно, что указанная выше зависимость  $\lambda$  и  $V'$  от квадрантов  $\text{min}$  и  $\text{max}$  сохраняется и в пределах каждой данной воздушной массы. Исключение представляет, повидимому, лишь свежий морской арктический воздух, дающий слишком высокие значения  $\lambda$  для северо-западной (II) четверти циклона.

Нет также оснований считать различия в значениях  $\lambda$  для разных воздушных масс целиком обусловленными распределением воздушных масс по квадрантам циклонов и антициклонов (табл. 21 и 22).

Из всего сказанного следует очевидно, что

(E). Связь между электропроводностью и полем с одной стороны и циклонами и антициклонами с другой имеет самодовлеющий характер в том смысле, что она не определяется целиком происхождением воздушных масс. А именно: теплые части циклона (восточная половина) и антициклона (западная половина) характеризуются более высокой электропроводностью воздуха и более низкими значениями поля, нежели холодные части.

Таблица 22

Четверти	CPL		MPL <sub>0</sub>		CAL		MAL <sub>0</sub>		MAL'	
	$\lambda$	$V'$	$\lambda$	$V'$	$\lambda$	$V'$	$\lambda$	$V'$	$\lambda$	$V'$
I II III IV	257	101	132	116	170	48	172	166	215	101
	135	179	126	154	114	174	222	141	107	260
	171	137	194	134	—	—	188	148	204	171
	218	114	225	84	—	—	—	—	148	221
ножки Пилло	165	172	176	98	93	—	135	185	117	211
	205	131	—	—	186	172	—	—	—	—
	166	129	—	—	83	108	200	363	212	113
	132	230	—	—	83	263	—	—	127	93
ножки Пилло Ант	—	—	(3)	(8)	(3)	(8)	(16)	(17)	(7)	(14)
	—	—	(4)	(17)	(4)	(7)	(4)	(9)	(9)	(6)
	—	—	(24)	(35)	(4)	(7)	(4)	(11)	(4)	(3)
	—	—	(13)	(35)	—	—	(4)	—	—	—

### § 7. Обсуждение результатов

Данные об электрических свойствах различных воздушных масс, приведенные выше, выведены главным образом по средним значениям электропроводности и поля. В отдельных случаях могут встречаться значительные отклонения  $\lambda$  и  $V'$  от средней для данной воздушной массы нормы. Такие же отклонения могут иметь место и для характера изменений этих элементов со сменой и старением воздушных масс.

Наличие наблюдаемых в частных случаях отклонений не является удивительным, в особенности если принять во внимание многочисленность факторов, влияющих на электропроводность и поле, благодаря чему ход этих элементов вообще отличается большими колебаниями, по амплитуде и частоте более значительными, чем колебания, например, таких элементов, как давление или температура.

Мы оставляем в стороне вопрос о влиянии на конечные выводы возможных ошибок. Ошибки могли иметь место при определении типов воздушных масс. Кроме того значения  $\lambda$  и  $V'$  в отдельных случаях могли быть искажены плохой изоляцией при измерениях. Но следует думать, что в результате отбора наблюдений, влияние последних ошибок в среднем существенного значения не имеет.

Объяснение выведенной выше зависимости электропроводности и поля от воздушных масс следует, очевидно, искать по двум направлениям. Прежде всего, зависимость  $\lambda$  и  $V'$  от воздушных масс может быть косвенной, вызванной теми типичными метеорологическими условиями, которые господствуют при приходе и пребывании той или иной воздушной массы в районе наблюдений. С другой стороны, эта зависимость может быть и прямой, обусловленной внутренними свойствами данной воздушной массы, как таковой. Дело сводится в конечном счете к вопросу о степени консервативности и репрезентативности значений  $\lambda$  и  $V'$ .

Рассмотрим в общих чертах влияние метеорологических факторов и, в первую очередь, роль давления и температуры. В самом деле, при при-

ходе арктических масс, как правило, имеет место возрастание давления и понижение температуры — обстоятельства, которые, как известно, должны при прочих равных условиях способствовать уменьшению электропроводности.

Нельзя ли, поэтому, низкие значения  $\lambda$  при арктических воздушных массах объяснить ходом давления и температуры. Некоторые частные случаи, рассмотренные выше, как будто и подтверждают такую точку зрения. В случаях изображенных, например, на черт. 5 и 12, уменьшение  $\lambda$  казалось бы могло происходить и в результате возрастания давления. Убывание  $\lambda$  при старении МАЛ в некоторых случаях при желании можно отнести и за счет роста давления и выхолаживания воздуха (черт. 9 и 10). Обратный ход  $\lambda$  и давления ясно выражен и на черт. 7 и 11. Кроме того, характер связи  $\lambda$  с квадрантами циклона и антициклона также при желании может быть объясняем распределением температуры и барометрической тенденции. Зато сравнительно высокие значения электропроводности при свежем морском арктическом воздухе нельзя объяснить ходом давления или температуры.

Затруднительно объяснить влиянием температуры и давления, например, ход  $\lambda$ , изображенный на черт. 8. Также не могут быть объяснены ходом температуры или давления резкие изменения  $\lambda$ , наблюдаемые в ряде случаев при смене воздушных масс (черт. 5, 6, 7, 12), так как соответствующих скачков температуры или давления вовсе не наблюдалось. Кроме того, изменения  $\lambda$ , благодаря некоторому отставанию по фазе, должны были бы вообще иметь характер несколько более сглаженный по сравнению с колебаниями  $t$  и  $B$ , чего на самом деле не наблюдается.

Вообще, как известно, обратный ход давления и  $\lambda$  наблюдается далеко не всегда [13]. Так, например, по наблюдениям за 1933 г. нами были сопоставлены изменения средних суточных значений электропроводности с изменениями давления. Оказалось, что из 334 рассмотренных случаев в 191 случае  $\lambda$  и  $B$  имели обратный ход, а в 143 случаях — прямой, причем иногда очень резко выраженный. При рассмотрении отдельно теплого и холодного времени года оказалось, что в теплое время года обратный ход  $\lambda$  и  $B$  имел место в 94, а прямой в 73 случаях; в холодное время обратный ход в 97, а прямой — в 70 случаях.

Предположим, что электропроводность воздуха обусловлена наличием легких ионов, непрерывно распределенных по подвижностям в пределах от  $k_1$  до  $k_2$ . Такое предположение, повидимому, вполне допустимо [14]. Тогда:

$$\lambda = e \int_{k_1}^{k_2} n_k k dk, \quad (1)$$

где  $n_k$  — число ионов подвижностью  $k$ ,  $e$  — заряд электрона (величины  $\lambda$ ,  $n_k$  и  $k$  относятся к ионам какого-нибудь одного знака). Пользуясь теоремой о среднем, равенство (1) можно переписать следующим образом:

$$\lambda = e \bar{k} \int_{k_1}^{k_2} n_k dk = e \bar{k} n, \quad (2)$$

где  $n$  — общее число легких ионов,  $\bar{k}$  — некоторое среднее значение подвижности ( $k_1 < \bar{k} < k_2$ ).

Величина  $\bar{k}$ , очевидно, зависит не только от  $k_1$  и  $k_2$ , но и от характера распределения ионов по подвижностям, зависящего в свою очередь, например, от содержания водяного пара в воздухе [14]. Но удельная

влажность воздуха является в известной мере консервативным свойством воздушных масс [2].

Влиянием изменений температуры и давления на  $k$ , в тех пределах, в которых происходят эти изменения у поверхности земли, можно совершенно пренебречь. Поэтому нет оснований, которые заставили бы считать  $\bar{k}$  обусловленным чисто местными условиями. В дальнейшем, величину  $c = e\bar{k}$  мы будем считать постоянной, поскольку мы не будем рассматривать зависимость  $\bar{k}$  от метеорологических условий.

Полагая справедливым линейный закон исчезновения ионов, можно написать:

$$n = \frac{q}{\beta},$$

где  $q$  — интенсивность ионообразования,  $\beta$  — коэффициент исчезновения ионов. Последние две величины в свою очередь можно выразить следующим образом:

$$q = I_0 + aE_R + bE_T,$$

где  $I_0$  — ионообразование, обусловленное земной  $\gamma$ -радиацией и космическими лучами,  $E_R$  — содержание эманации радия в воздухе,  $E_T$  — содержание эманации тория в воздухе,  $a$  и  $b$  — постоянные величины.

Для  $\beta$  можно написать совершенно общее выражение:

$$\beta = \sum \eta_i N_i,$$

где  $N_i$  — содержание в воздухе частиц, какого-нибудь одного определенного рода, такими частицами могут быть тяжелые ионы, различного рода ядра конденсации, частицы пыли и т. д. [15], [16];  $\eta_i$  — коэффициент воссоединения легких ионов с частицами  $i$ -го рода.

Для  $\lambda$  из (2) мы получим тогда следующее выражение:

$$\lambda = \frac{c}{\sum \eta_i N_i} (I_0 + aE_R + bE_T) = Rq. \quad (3)$$

Таким образом  $\lambda$  определяется двумя сомножителями. Первый из этих сомножителей  $R = \frac{c}{\sum \eta_i N_i}$  несомненно должен обладать качеством консервативности для различных воздушных масс. Его величина зависит от коллоидных свойств воздуха, которые, как известно, вполне могут характеризовать воздушные массы, как таковые (характеристика воздушных масс по опалесцирующей мути, степени видимости, фактору мутности) [17, 18, 19, 20, 21, 22].

Второй сомножитель состоит из нескольких частей

$$(q = I_0 + aE_R + bE_T),$$

из которых  $I_0$  можно считать с известным правом величиной постоянной. Значения  $I_0$ , правда, могут зависеть от толщины снежного покрова. Большая толщина снежного покрова при слабой радиоактивности снега приводит к значительному снижению  $I_0$  [23]. Но вызванные этим обстоятельством колебания  $I_0$  будут, очевидно, носить более или менее сезонный характер, не связанный непосредственно с типами воздушных масс.

Далее наблюдения показывают, что интенсивность проникающей радиации увеличивается с падением давления и повышением температуры [23]. Но эти колебания проникающей радиации, однако, слишком малы, чтобы их принимать в расчет, тем более, если учесть, что они происходят

в известной мере за счет той доли проникающей радиации, которая обусловлена содержанием продуктов распада эманаций радия и тория в атмосферном воздухе; зависимость от температуры и давления  $I_0$ , под которым мы понимаем ионизацию, вызванную именно только земной  $\gamma$ -радиацией и космическими лучами, будет таким образом, выражена еще слабее.

Отметим еще значительные повышения  $I_0$ , вызываемые радиоактивностью выпадающих осадков. Увеличение  $I_0$  после осадков могло несколько исказить значения  $\lambda$  для прифронтовых зон, богатых осадками. По данным В. Н. Оболенского [24] повышенные значения  $I_0$  наблюдаются в течение 2–3 часов после осадков. Благодаря малой продолжительности, вряд ли эти искажения  $I_0$  могли существенным образом сказаться на конечных выводах.

Член  $bE_T$ , повидимому, зависит исключительно от местных влияний, так как эманация тория, благодаря ее малому периоду полураспада, не может приноситься сколько-нибудь издалека. Следует предполагать, что содержание EmTh в воздухе именно будет определяться ходом атмосферного давления, температурой почвы и воздуха, турбулентностью слоев воздуха и, особенно, состоянием поверхности почвы. Член  $bE_T$  будет давать, таким образом, неконсервативную часть  $\lambda$ .

Что касается члена  $aE_R$ , то его отнюдь нельзя считать зависящим только от местных процессов. По исследованию Е. С. Меркуловой, произведенным в Секторе атмосферного электричества Главной геофизической обсерватории, содержание эманации радия в воздухе обнаруживает, повидимому, хорошую зависимость от воздушных масс. А именно: наибольшим содержанием EmRa характеризуется CPL, далее идут по порядку MPL, CAL и MAL.

Такого рода зависимость  $E_R$  от воздушных масс кажется вполне естественной, если учесть, что вследствие сравнительно большой продолжительности жизни EmRa может приноситься воздушными течениями из достаточно удаленных районов. Зависимость  $E_R$  от атмосферного давления не удалось обнаружить. Ряд других авторов, как известно, также не мог обнаружить закономерного возрастания  $E_R$  с падением давления; напротив, во многих случаях  $E_R$  росло с повышением давления [25], [26].

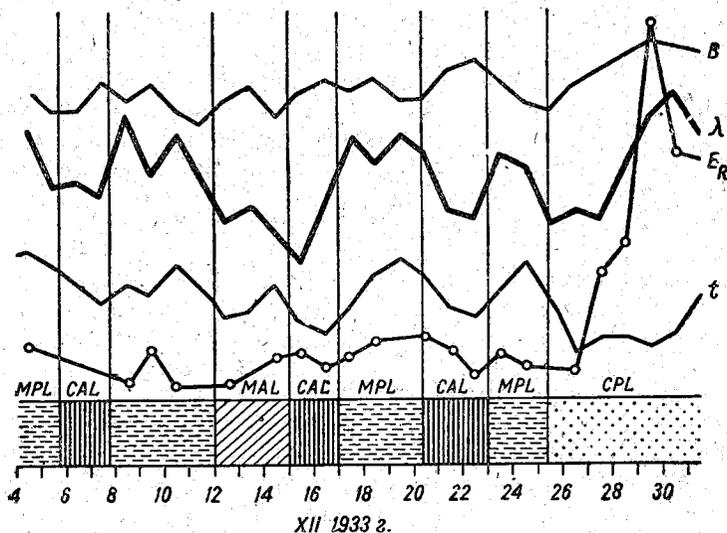
Решающее значение в вопросе о зависимости  $E_R$  от местных причин имеют, очевидно, непосредственные измерения выхода эманации радия из почвы. Космат [27] по наблюдениям в Либенау-Граце не обнаружил никакой зависимости между ходом давления и эксхалацией эманации радия из почвы. Далее оказалось, что эксхалация убывает с повышением температуры воздуха и почвы и не зависит от влажности почвы. Не мог также найти зависимости между эксхалацией и давлением и Зупанчич [28] по измерениям в Инсбруке. Последний автор прямо отмечает, что на выход EmRa из почвы влияние колебаний давления невелико и что оно легко перекрывается другими факторами.

На основании сказанного любопытно хотя бы грубо оценить относительную величину заведомо неконсервативной части  $\lambda$ . Полагая  $q = 10$ ,  $bE_T = 2,2$  [29], найдем, что неконсервативная доля  $\lambda$  сводится примерно к 22%.

Иллюстрацией ко всему изложенному может служить черт. 14, на котором приведен ход  $\lambda$ ,  $B$ ,  $t$  и  $E_R$  в декабре 1933 г. Все кривые построены по средним суточным значениям соответствующих элементов.

Из чертежа видно, что ход  $\lambda$  и  $B$  далеко не всегда имеет противоположный характер. Особенно показателен в этом отношении конец месяца, когда  $\lambda$  резко возрастало при одновременном сильном росте давления. Рост  $\lambda$  в данном случае несомненно объясняется приходом CPL,

вызвавшего весьма значительное повышение содержания эманация радия в атмосфере ( $E_R$ ). Случаи понижения  $\lambda$  (6—8 декабря, 12—17 декабря, 20—23 декабря) хорошо могут быть объяснены именно приходом арктических воздушных масс. Только лишь в одном из этих случаев (20—23 декабря) наблюдается ясно выраженный обратный ход  $\lambda$  и давления.



Черт. 14.

С точки зрения вопроса о влиянии условий погоды на характер зависимости  $\lambda$  и  $V'$  от воздушных масс небезынтересно рассмотреть табл. 23, в которой приведены средние суточные значения  $\lambda$  и  $V'$  для различных воздушных масс, взятые только по „нормальным“ дням, т. е. соответствующие более или менее определенной погоде.

Таблица 23

Воздушные массы	Среднее за сутки		
	$\lambda$	$V'$	(n)
CPL . . . . .	194	145	(66)
MPL . . . . .	189	145	(50)
CAL . . . . .	135	220	(19)
MAL . . . . .	143	226	(21)
MPL <sub>0</sub> . . . . .	159	153	(9)
MPL <sub>1</sub> . . . . .	181	147	(13)
MPL <sub>2</sub> . . . . .	203	142	(28)
CAL <sub>0</sub> . . . . .	78	365	(5)
CAL <sub>1</sub> . . . . .	158	191	(8)
CAL <sub>2</sub> . . . . .	152	139	(6)
MAL <sub>0</sub> . . . . .	154	189	(6)
MAL <sub>1</sub> . . . . .	125	263	(13)
MAL <sub>2</sub> . . . . .	228	103	(2)

как раз более резко выражена зимой, когда благодаря снежному покрову и промерзшей почве  $E_T$  мал.

Получается таким образом впечатление, что местные причины не определяют, а наоборот искажают найденную зависимость  $\lambda$  от воздушных

Несмотря на ограниченное число использованных данных, из таблицы явствует, что найденная выше зависимость  $\lambda$  и  $V'$  от воздушных масс сохраняется и для нормальных дней. Необходимо, наконец, отметить следующее обстоятельство. Если бы выведенная зависимость  $\lambda$  от воздушных масс определялась местными причинами, то эта зависимость должна была бы быть более резко выраженной в летнее время, когда роль эманации тория ( $E_T$ ) велика, благодаря облегченному выходу ее из почвенных капилляров в атмосферу. На самом деле зависимость  $\lambda$  от воздушных масс

масс. Более резкая зависимость  $\lambda$  и  $V'$  от воздушных масс в зимнее время, между прочим, была обнаружена и Гольдшмидтом [9].

Из всего сказанного следует, что нет особых оснований считать зависимость электропроводности воздуха и электрического поля в атмосфере от воздушных масс обусловленной исключительно причинами косвенного характера. Напротив, возможна обратная постановка вопроса: не является ли ясно иногда выраженная зависимость  $\lambda$  от хода давления и температуры [13] сама косвенной, обусловленной в действительности сменой воздушных масс, различных по происхождению и свойствам.

Во всяком случае в принципе электропроводность воздуха вполне может зависеть от внутренних свойств воздушных масс как таковых. К сожалению острота этой зависимости ослабляется тем обстоятельством, что множители  $R$  и  $q$ , определяющие величину  $\lambda$  (равенство 3) при смене воздушных масс меняются, повидимому, в обратных направлениях.

Сравнительно высокие значения  $\lambda$  при слаборадиоактивных морских массах объясняются, очевидно, чистотой воздуха. Ход  $\lambda$  при морском арктическом воздухе можно, например, истолковать следующим образом. Свежий MAL характеризуется большой чистотой. В самом деле, по данным Шинце [12] видимость при MAL часто бывает „необычайно хорошей“; фактор мутности для MAL имеет наименьшие значения [22]. Благодаря этому,  $\lambda$  при свежем MAL велико (большое  $R$ ), несмотря на малое содержание ионов вообще. Со старением MAL загрязняется и в результате  $\lambda$  падает (малые значения  $\lambda$  при MAL<sub>1</sub>). Но с дальнейшим прогреванием MAL, находясь над континентом, обогащается радиоактивными эманиациями (увеличение  $q$ ), и электропроводность вновь растет.

Континентальный арктический воздух дает меньшие значения  $\lambda$ , так как, наряду с малой радиоактивностью, он в то же время в большей мере насыщен континентальной пылью, нежели MAL [2].

Континентальный полярный воздух дает вообще высокие значения  $\lambda$ , благодаря большому содержанию эманиации радия.

Обращаясь к зависимости  $V'$  от воздушных масс, необходимо отметить, что значения напряженности поля должны прежде всего зависеть от электропроводности воздуха. Обратная зависимость между  $\lambda$  и  $V'$ , всюду полученная выше, вытекает как необходимое следствие из существования в атмосфере тока, направленного снизу вверх („противотока“), неизвестного пока по своей природе, но во всяком случае не зависящего от  $\lambda$ ; наличие которого является необходимым для поддержания отрицательного заряда земли.

При этом, очевидно, в качественном отношении безразлично распределен ли противоток равномерно по поверхности земли или же он локализован в определенных точках. Тем не менее истолкование зависимости электрического поля от характера воздушных масс представляется более сложным, так как на значениях поля кроме электропроводности воздуха еще сказываются величина, знак и распределение пространственных зарядов в воздухе.

Воздушные массы выше характеризовались нами исключительно по географическому признаку. Между тем не подлежит сомнению, что на элементах атмосферного электричества так или иначе отражается и характер вертикальной стратификации атмосферы. Высокие и колеблющиеся значения поля при морском арктическом воздухе, повидимому, объясняются именно неустойчивостью MAL как типичной холодной массы. Во всяком случае беспокойный ход  $V'$  для морского арктического воздуха вполне согласуется с установленным фактом большого числа атмосферных радиопомех (атмосфериков) для холодных, неустойчивых воздушных масс [30, 17].

Следует еще отметить, что по Шинце [12] для МАЛ характерны грозы даже зимой (слабые грозы со снегом). Высокие значения поля для холодных воздушных масс, возможно, объясняются тем, что, благодаря сильному перемешиванию воздуха, положительный объемный заряд, накапливающийся вследствие электродного эффекта у поверхности земли, переносится кверху, в результате чего поле усиливается.

Еще более повышенные значения поля могут наблюдаться временами благодаря электризации взвешенных в воздухе частиц под действием сильных и порывистых вертикальных течений. Перемешивание и перенос масс воздуха с различными объемными зарядами из одного места в другое при этом, очевидно, и является причиной беспокойного хода  $V'$ .

Влияние турбулентного перемешивания на электропроводность может происходить через изменение содержания в приземных слоях радиоактивных веществ и разного рода взвешенных в воздухе частиц. Из факта вообще значительного увеличения электропроводности к теплоте времени года и особенно сильного при этом увеличения  $\lambda$  для арктических воздушных масс, скорее всего можно сделать вывод, что усиление турбулентности ведет к увеличению электропроводности воздуха.

Связь  $\lambda$  и  $V'$  с квадрантами циклонов и антициклонов вызвана, видимо, сложным сочетанием причин, к числу которых относятся: распределение воздушных масс различного происхождения, характер вертикальной стратификации атмосферы, а также ход и распределение метеорологических элементов.

Вопрос о степени консервативности и репрезентативности значений  $\lambda$  и  $V'$ , равно как и о причинах найденной зависимости  $\lambda$  и  $V'$  от воздушных масс, все же, очевидно, не может быть окончательно решен общими рассуждениями, приведенными выше. Для получения электрических характеристик воздушных масс как таковых необходимо каким-то образом исключить влияние косвенных метеорологических факторов, так или иначе сказывающихся на электрическом состоянии атмосферы. К этому вопросу автор надеется вернуться в своем следующем сообщении.

В заключение автор считает своим долгом выразить благодарность проф. П. Н. Тверскому и Н. И. Леушину за сделанные ими замечания по работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A. Schmauss, A. Wigand. Die Atmosphäre als Kolloid. F. Vieweg, Braunschweig. 1929.
2. С. П. Хромов. Введение в синоптический анализ. Редиздат ЦУЕГМС, Москва, 1934.
3. F. Linke. Göttinger Abh. math.-phys. Kl. N. F. 3, № 5, 1904.
4. A. Wigand. Ann. d. Phys. 66, 81, 1921; 85, 333, 1928; E. Everling und A. Wigand. Ann. d. Phys. 66, 261, 1921.
5. P. Idrac. La Nature № 2886. 1932, С. R. 182, 1634, 1926.
6. The Weather Book. A manual of practical meteorology by Rear Admiral Fitz-Roy. London. 1863.
7. H. Markgraf. Met. Zeitschr. 41, H. 6, 1924; 41, 315, 1924.
8. A. Gockel. Terr. Magn. 31, 81, 1926.
9. H. Goldschmidt. Met. Zeitschr. 50, 494, 1933.
10. H. Goldschmidt. K. Bürger, Met. Zeitschr. 51, 286, 1934.
11. H. Kühn. Zeitschr. f. Geophys. 9, 238, 1933.
12. G. Schinze. Die praktische Wetteranalyse, Hamburg. 1933.
13. К. Келер. Атмосферное электричество. Научное книгоиздательство. Петроград. 1920.
14. J. Zeleny. Phys. Rev. 34, 310, 1929; 36, 35, 1930.
15. J. R. Wright. Proc. Phys. Soc. 45, 152, 1933.
16. P. J. Nolan. Proc. Roy. Irish. Ac. 41, 61, 1933.
17. Т. Бержерон. Трехмерно-связный синоптический анализ. ч. 1-ая, Изд. ЦУЕГМС. Москва 1934.
18. Е. В. Пясковская. Журнал Геофизики 329, 1932.

19. H. F. Friedrichs Das Wetter. 1930.
20. W. Grundman O. Moese, Ann. Hydr. u. Marit. Met. 253, 1931.
21. L. Мамонтова и S. Сромов. Met. Zeitschr. 11, 1933.
22. М. Н. Полякова С. И. Сивков, К. В. Терновская, Журнал Геофизики, 5, 39, 1935.
23. В. Н. Оболенский Геофизич. Сборник, 4, 5, 1919.
24. В. Н. Оболенский. Met. Vestn. 29, 7, 1919.
25. E. Schmid, Wien. Ber. 140, 27, 1931.
26. W. Kosmath. Gerl. Beitr. z. Geophys. 25, 95, 1930.
27. W. Kosmath. Gerl. Beitr. z. Geophys. 43, 258, 1934.
28. R. Zurancic. Terr. Magn. 39, 1934.
29. Г. Бенндорф. Атмосферное электричество. ОНТИ 1934.
30. R. Bureau. Union Radiotel. Sc. Int. (URSI) 1924; L'onde électrique, 1924; C. R. 198, 1057, 1934.

## THE ELECTRICAL STATE OF THE ATMOSPHERE AND THE AIR-MASSSES

By R. A. Allik

### Summary

The paper gives a comparison of the conductivity of the air ( $\lambda$ ) and the tension of the electric field in the atmosphere ( $V'$ ) with the air-masses. The results of continuous records of  $\lambda$  and  $V'$  for 1931—1934, made in Slutsk (Leningrad district), have been made use of in this work.

As a result of the comparison it proved possible to give the following description of the electrical properties of various air-masses.

#### a. Continental arctic air (CAL).

This air is characterized by generally low values of conductivity in comparison with other air-masses. The advance of continental arctic air is accompanied, as a rule, by a noticeable decrease of frequently bearing the character of an abrupt leap. Fresh continental arctic air gives the lowest values of  $\lambda$ ; with the transformation of this air  $\lambda$  gradually increases. Towards the warm period of the year  $\lambda$  increases relatively more intensely for CAL than for polar air-masses.

#### b. Marine arctic air (MAL).

It is distinguished by comparatively high values of conductivity. The advent of fresh marine arctic air is often attended by an increase of  $\lambda$  (for instance when it replaces the continental polar air). With the air-mass becoming old  $\lambda$  at first sharply decreases, reaching very low values, but afterwards, with the air becoming heated, it again increases, attaining at the warm period of the year such high mean values as in no other air-mass.

In marine arctic air the field shows disproportionate high values in comparison with the value of  $\lambda$ . Towards the warm period of the year  $\lambda$  for MAL increases relatively more intensely than for polar air masses.

#### c. Marine polar air (MPL).

By its mean values of conductivity it differs but little from the continental polar air. Fresh marine polar air shows a tendency to give higher values of conductivity. With the advent of fresh marine polar air in most cases occurs an increase of the conductivity. With the transformation of the air-masses  $\lambda$  decreases at first, later, with their heating, increasing again, though this course of  $\lambda$  is but feebly pronounced.

#### d. Continental polar air (CPL).

This air is generally distinguished by high mean values of conductivity. In individual cases the values of conductivity vary, depending on the charac-

ter of the origin of the continental polar air (on its previous history), inclining in one or the other direction.

The behaviour of the field ( $V$ ) in every instance bears, as a rule, a reverse character to that of the course of the conductivity. The nature of the connection of  $\lambda$  and  $V$  with the air masses does not depend on the time of the day and the season of the year. This connection, however, is stronger pronounced in the cold season. A confirmation of the conclusions drawn has been found in the dependence of  $\lambda$  and  $V$  upon the direction of the wind.

A comparison of  $\lambda$  and  $V$  with the quadrants of cyclones and anticyclones has shown that the warm parts of a cyclone or anticyclone are distinguished by higher values of  $\lambda$  and lower ones of  $V$  than the cold parts.

There have been examined any possible explanations of the dependence of  $\lambda$  and  $V$  upon the air-masses, it being surmised that this dependence is most probably caused by the internal properties of the air-masses themselves.

## РАДИОАКТИВНОСТЬ ВОЗДУХА И ВОЗДУШНЫЕ МАССЫ

### § 1. Введение

В группе Атмосферного электричества ГГО с 1933 г. ведутся систематические наблюдения над радиоактивностью нижних слоев атмосферы. Цель настоящей работы заключается в изучении связи между колебаниями радиоактивности атмосферы и притоком воздушных масс различного происхождения. Прежние наблюдения над концентрацией эманации радия в атмосфере показали, что в некоторых случаях наблюдается приток эманации радия в место наблюдения из отдаленных областей. Так, экспедиция „Карнеги“ наблюдала высокие значения концентрации эманации над океанами при ветре с суши.

Произведенные Бондгардсом<sup>1</sup> измерения во время полета на аэроплане, показали в отдельные дни очень значительное содержание эманации радия на высоте 3000—4000 м. Виганд<sup>2</sup> наблюдал на высотах 1200—1500 м в отдельные дни концентрации эманации радия того же порядка, что и у земной поверхности. 6 марта 1924 г. он наблюдал низкие значения на высотах 250—300 м и высокие значения на высотах 1200—1350 м.

На основании этого Виганд сделал вывод, что происхождение и прошлая жизнь воздуха, находящегося на различных высотах, определяет изменение концентрации эманации радия с высотой. В присутствии нескольких слоев воздуха, имеющих различное происхождение, количество эманации на высоте изменяется резким скачком и на больших высотах может оказаться очень значительным, если воздушная масса найдется там недавно.

Естественно ожидать, что приток эманации с воздушными массами может сказываться не только на изменении радиоактивности с высотой, но и на радиоактивном режиме в самых нижних слоях атмосферы. Возможно, что об этом говорит и тот факт, что произведенные в различных местах многочисленные сопоставления колебаний радиоактивности с местными метеорологическими условиями не дают ясной картины влияния того или иного метеорологического элемента на концентрацию эманации радия у земной поверхности. Высокие значения концентрации наблюдаются при падающем и повышающемся давлении, при низкой и высокой температуре.

Разные исследователи нередко приходили к совершенно противоположным заключениям о влиянии того или иного метеорологического фактора на изменения концентрации эманации вблизи земной поверхности.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bondgards, Phys. L. S. Bd 27, 295 (1926); Bd 25, 679 (1924)

<sup>2</sup> Wigand und Wenk, Ann. der Physik Bd 86, 657 (1928).

<sup>3</sup> Гесс. Ионизация атмосферы и ее причины.

Lindemann, Dissert. Kiel (1914).

E. Schmidt, Wien. Sitzber. IIa — 140, 27, (1930).

Поэтому мы сделали попытку исследовать полученный систематический материал по радиоактивности атмосферы в связи со сменой воздушных масс и барических образований над районом Слудка.

## § 2. Метод измерений и обработка результатов

Измерения радиоактивности воздуха в Слудке производились методом активирования проволоки, который является наиболее простым и дает возможность наблюдать одновременно за изменениями в воздухе концентрации радиевых и ториевых продуктов. Метод активирования, как известно, состоит в том, что проволока, заряженная до высокого отрицательного потенциала, экспонируется в свободном воздухе. Под влиянием электрического поля на ней осаждаются продукты распада эманаций, так называемые индукции, имеющие положительный заряд.

Для получения вполне сравнимых результатов поддерживались строго постоянные условия экспериментов, а именно: проволока экспонировалась в течение 4 часов — с 9 до 13<sup>h</sup> по среднему местному времени; длина проволоки равнялась 20 м, толщина 0,6 мм; потенциал на проволоку, равный 2000 вольт, подавался от сухих батарей и контролировался во время экспозиции с помощью включенного в цепь электрометра Брауна. Проволока протягивалась горизонтально на высоте 2 м от земной поверхности, причем 10 м в направлении EW и 10 м в направлении SW, для того, чтобы проволока при любом направлении ветра находилась в одинаковых условиях.

После окончания экспозиции проволока сматывалась на металлический каркас и помещалась в ионизационную камеру, в которой с помощью электрометра Вульфа измерялся ионизационный ток (чувствительность электрометра 1,5 вольта на одно деление шкалы микроскопа, емкость — 2,49 см).

Перед началом измерений всегда проверялось натуральное рассеяние прибора, которое затем вычиталось из величины ионизационного тока. Возможность искажения результатов, вследствие плохой изоляции прибора, была, таким образом, совершенно исключена.

Ионизационный ток от активного осадка измерялся в течение 4<sup>1/2</sup> часов и выражался в делениях в час шкалы микроскопа. Для каждого наблюдения чертилась кривая распада активного осадка. Ординаты по кривым (с некоторыми поправками),<sup>1</sup> соответствующие одному часу после окончания экспозиции, давали относительные числа, характеризующие концентрацию в атмосфере продуктов распада радия.

Ординаты, соответствующие четырем часам, давали относительные числа, характеризующие концентрацию ториевых продуктов. (Для этих величин в тексте применяются термины „индекс радиевой активности“ и „индекс ториевой активности“ воздуха.)

Метеорологические данные, необходимые для сравнения, были взяты в Метеорологической обсерватории в Слудке, которая находится на расстоянии около 1/2 км от места наблюдений. Синоптические данные были взяты из синоптических карт Центрального бюро погоды. Для воздушных масс применялись принятые в синоптике обозначения: КПВ — континентальный полярный воздух; МПВ — морской полярный воздух; КАВ — континентальный арктический воздух; МАВ — морской арктический воздух.

## § 3. Исследование методики наблюдений

Количество радиоактивных индукций, оседающих на проволоку в единицу времени, определяется двумя факторами: 1) концентрацией радио-

<sup>1</sup> Часовая ордината исправлялась на величину ионизационного тока, обусловленного ториевыми индукциями. Эта поправка особенно существенна в летнее время.

активных индукций в атмосфере; 2) средней подвижностью радиоактивных ионов.<sup>1</sup>

Если средняя подвижность радиоактивных ионов остается постоянной, то количество осевших на проволоку индукций может служить индексом, характеризующим радиоактивность атмосферы. Но надо предполагать, что средняя подвижность радиоактивных ионов может изменяться в зависимости от влажности и чистоты воздуха.

Поэтому, для исследования вопроса, насколько колебания средней подвижности ионов могут исказить действительный ход радиоактивности атмосферы, результаты активирования были сопоставлены с видимостью, а также с абсолютной и относительной влажностью воздуха; были вычислены коэффициенты корреляции между активностью проволоки и этими элементами, при предположении, что слабой видимости и повышенной влажности должна соответствовать малая подвижность радиоактивных ионов.

Коэффициенты корреляции получились следующие: с видимостью  $-0,19 \pm 0,05$ ; с относительной влажностью  $+0,14 \pm 0,05$  и с абсолютной влажностью  $-0,05 \pm 0,04$ . Корреляция между элементами считается существующей, если коэффициент корреляции в шесть раз превышает ошибку. Таким образом, полученные коэффициенты корреляции показывают, что ни один из этих факторов не оказывает существенного влияния на величину активности проволоки.

Повидимому колебания активности проволоки обусловлены, главным образом, изменениями концентрации в воздухе радиоактивных веществ и, следовательно, для работы, цель которой заключается в исследовании изменений радиоактивности воздуха со временем, метод активирования можно считать пригодным.

#### § 4. Результаты наблюдений

а) Средние величины. В данной статье приводятся результаты наблюдений над радиоактивностью атмосферы в Слуцке с марта 1933 г. по декабрь 1935 г. За это время сделано 350 наблюдений. Средняя величина часового тока получилась равной  $550 \frac{\text{дел.}}{\text{час}}$ , средняя величина четырехчасового тока —  $60 \frac{\text{дел.}}{\text{час}}$ .

По средней величине активности проволоки была вычислена концентрация эманации радия в атмосфере по формулам В. И. Баранова<sup>2</sup> с учетом исчезновения легкоподвижных радиоактивных ионов (вследствие рекомбинации и потери подвижности). При вычислении предполагалось, что в момент окончания экспозиции радиоактивные вещества, принадлежащие семейству радия, находятся на проволоке в равновесии. В  $1 \text{ см}^3$  воздуха получилось  $0,88$  атомов эманации радия. Отношение концентраций эманации радия и тория  $16,0 \cdot 10^3$ . Порядок величин вполне совпадает с соответствующими значениями, полученными в других местах.

б) Связь с воздушными массами. Колебания во времени индекса радиевой активности очень велики. В Слуцке отношение максимальной наблюдавшейся величины и минимальной равно  $40:1$ . Эти,

<sup>1</sup> Влияние скорости ветра на осаждение индукций на проволоку не принимается во внимание, так как теоретически было доказано японскими исследователями Kinoshita и Nishikawa, что количество радиоактивных индукций, оседающих на проволоку в единицу времени, не зависит от скорости ветра, если она больше некоторой предельной, очень небольшой величины. При наших условиях активирования предельная скорость равна  $2 \text{ см/сек}$ .

<sup>2</sup> Баранов. К вопросу о методах измерения радиоактивности атмосферы.

очень большие, колебания невозможно объяснить изменением местных метеорологических условий.

В табл. 1 во 2-й графе дано давление в 13<sup>h</sup> в день измерения, в 3-й графе — изменение давления с 13<sup>h</sup> предыдущего дня до 13<sup>h</sup> данного, в 4 и 5-й графах — температура и влажность в 13<sup>h</sup> по среднему местному времени, в 6-й графе — индекс радиевой активности и в 7-й — воздушная масса.

Из табл. 1 видно, что значения индекса радиевой активности при примерно одинаковых метеорологических условиях в зимнее время изменяются в 20—40 раз. Из графы 7-й видно, что все эти значения наблюдались в КПВ.

Таблица 1

Радиоактивность воздуха при примерно одинаковых метеорологических условиях						
Дата	Давление	Колебания давления	Температура	Влажность	Индекс р. а.	Воздушная масса
1933 г.						
28 XI	73,8	+12,9	-12,1	86	260	КАВ
9 XII	62,1	-11,2	- 8,2	85	80	МПВ
13 XII	60,1	+ 5,2	- 9,6	88	350	МАВ
15 XII	58 0	+13,0	- 8,2	90	240	КАВ
21 XII	64,0	+13,4	- 8,2	69	130	КАВ
28 XII	67,6	+ 6,4	-14,6	85	3 200	КПВ
1934 г.						
5 XII	68,9	+ 7,8	-12,6	82	840	КПВ
1935 г.						
3 I	70,7	+ 7,6	-14,6	75	150	КАВ
7 II	60,0	+11,9	- 8,2	81	605	КПВ
8 II	67,8	+ 7,8	- 9,8	80	850	КПВ

Таблица 2

Месяцы	Максимальные значения		Минимальные значения		Отношение максимальной величины к минимальной
	Индекс р. а.	Воздушная масса	Индекс р. а.	Воздушная масса	
Январь . . . . .	2 090	КПВ	150	КАВ	14:1
Февраль . . . . .	1 000	КПВ	80	МАВ	13:1
Март . . . . .	920	КПВ	85	КАВ	11:1
Апрель . . . . .	1 340	КПВ	97	КАВ	14:1
Май . . . . .	1 400	КПВ	80	МАВ	19:1
Июнь . . . . .	720	КПВ	80	МАВ	9:1
Июль . . . . .	1 100	КПВ	190	МПВ	6:1
Август . . . . .	1 500	КПВ	180	МПВ	8:1
Сентябрь . . . . .	2 050	КПВ	130	МПВ	15:1
Октябрь . . . . .	1 600	КПВ	160	МПВ	10:1
Ноябрь . . . . .	2 550	КПВ	220	МПВ	11:1
Декабрь . . . . .	3 200	КПВ	80	МПВ	40:1

В табл. 2 даны минимальные и максимальные значения индекса радиевой активности за каждый месяц года, причем все максимальные значения наблюдались в КПВ и ни одно минимальное значение не относится к КПВ.

Статистическая обработка материала дала средние значения индекса радиевой активности для различных воздушных масс, представленные в табл. 3. Отдельно были найдены средние индексы для КПВ, действительно континентального происхождения, сформировавшегося в стационарном антициклоне над континентом, обозначенного в таблице КПВ<sub>н</sub>, и для КПВ, образовавшегося из других воздушных масс, благодаря трансформации их над континентом, и обозначенного в таблице КПВ<sub>т</sub>. В последнюю группу вошел также КПВ, происхождение которого было неясно.

МПВ был разделен на старый и свежий, что в таблице соответственно обозначено МПВ<sub>ст</sub> и МПВ<sub>св</sub>. Под старым подразумевался МПВ находившийся над континентом не менее 3 суток. Для КАВ и МАВ такие подразделения не делались, так как в этих воздушных массах было сделано мало изменений.

В графах 3 и 6-й табл. 3 указано число измерений радиевой активности в данных воздушных массах.

• Таблица 3

Воздушная масса	Индекс р. а. <sup>1</sup>	Число измерений	Воздушная масса	Индекс р. а.	Число измерений
КПВ	760	152	КПВ <sub>н</sub>	1 290	33
			КПВ <sub>т</sub>	630	119
МПВ	370	100	МПВ <sub>ст</sub>	520	36
			МПВ <sub>св</sub>	290	64
КАВ	340	26	—	—	—
МАВ	350	24	—	—	—

Из табл. 3 видно, что КПВ обладает значительно большей радиоактивностью, чем другие воздушные массы. Особенно высокой радиевой активностью обладает КПВ<sub>н</sub>. Средняя величина радиевой активности КПВ<sub>т</sub> тоже значительно выше, чем средние значения радиевой активности в других воздушных массах. Кроме того радиева активность старого МПВ почти в два раза превышает таковую свежего МПВ. Между средней радиевой активностью МПВ, КАВ и МАВ не наблюдается существенной разницы. Таким образом, высокая радиева активность как будто является присущей КПВ или воздушной массе, продолжительное время пребывающей над континентом в умеренных широтах.

Связь радиевой активности с воздушными массами выступает довольно отчетливо не только на средних значениях, но и в каждом индивидуальном случае, если просматривать изо дня в день колебания индекса радиевой активности и смену воздушных масс.

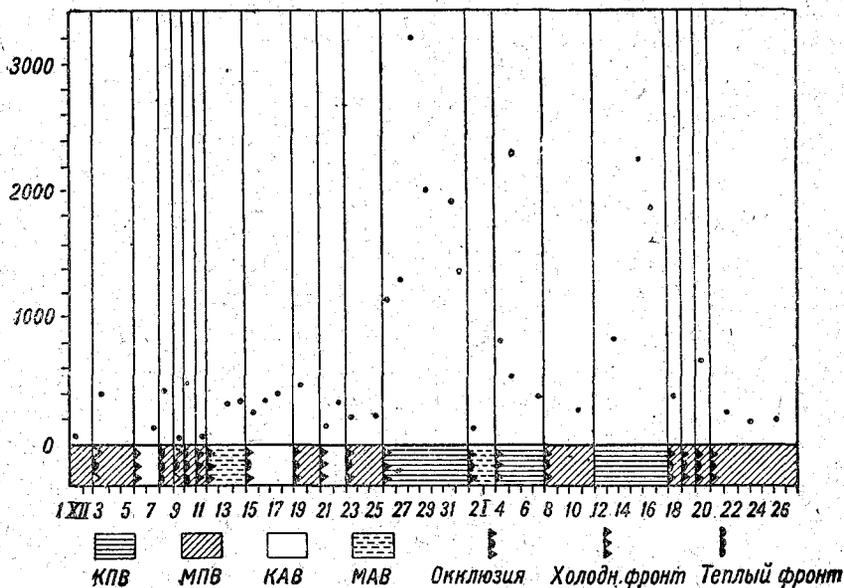
На черт. 1 в качестве примера дана картина смены воздушных масс и изменений индекса радиевой активности в Слуцке в декабре и январе 1933—1934 гг. Различной штриховкой обозначены различные воздушные массы. На оси абсцисс отложены числа месяцев, на оси ординат—индексы „радиевой активности“. К сожалению, наблюдения производились не каждый день, и это делает картину менее наглядной.

На этом примере можно заметить, что индекс радиевой активности в МПВ и в АВ несколько возрастает, если воздушная масса задерживается над континентом в умеренных широтах на несколько дней и нет интенсивного притока свежего воздуха того же происхождения. Так было

<sup>1</sup> р. а.—радиевой активности.

например 13—14, 15—17 и 21—22 декабря. Со сменой воздушной массы индекс радиевой активности обычно изменяется и иногда очень резко, например: 7—8 и 25—26 декабря и 16—18 и 20—22 января.

Особенно большие значения индекса радиевой активности наблюдались в КПВ 26—31 декабря и 13—17 января. В обоих случаях мы имели приток КПВ действительно континентального происхождения (КПВ). 26—31 декабря в Слуцк притекал КПВ из области повышенного давления, расположенной над северной частью бассейна р. Оби. С 25 на 26 прошел резко выраженный холодный фронт, и величина радиевой активности внезапно возросла с 250 (25 декабря) до 1190 (26 декабря) и в следу-



Черт. 1. Колебания радиоактивности и смена воздушных масс.

ющие дни продолжала возрастать, достигнув максимума 28 декабря—3200 (это самое большое значение индекса радиевой активности, которое наблюдалось в 1933—1934 г.). 29 декабря радиоактивность выражалась числом 2020, 31 декабря—1920. Измерения, сделанные 2 января уже в МПВ, дали значение индекса радиевой активности 170, в 11 раз меньше чем 31 декабря.

Во втором случае (11—18 января) КПВ притекал в Слуцк с юго-востока. Над юго-восточной частью Европейской территории СССР повышенное давление держалось весь период декабрь—январь. Приток этой воздушной массы происходил без резко выраженного фронта и изменение индекса радиевой активности происходило довольно постепенно: 13 января 800; 15 января—2090; 16 января 1700; 18 января измерения, произведенные в МПВ, дали значение индекса 470 (в 4 раза меньше чем 16 января).

Эти два примера являются характерными для притока КПВ, причем в случае ясно выраженного фронта радиоактивность изменяется резко, а в случае отсутствия резко выраженной области раздела между двумя воздушными массами радиоактивность изменяется постепенно. Второй случай обычен для притока КПВ с юго-востока.

Никакой связи между индексом „ториевой активности“ и воздушными массами найдено не было, как и следовало ожидать, так как продолжительность жизни ториевой эманации очень мала.

в) Связь радиевой активности с барическими системами. В табл. 4 даны средние величины радиевой активности при антициклональном и циклональном состоянии погоды в Слуцке.

Таблица 4

Воздушная масса	Антициклон		Циклон	
	Индекс р. а.	Число измерений	Индекс р. а.	Число измерений
Без разделения на воздушные массы . . . . .	610	116	560	106
КПВ . . . . .	940	52	760	47
МПВ . . . . .	320	28	430	46

Из этой таблицы видно, что КПВ более радиоактивен в антициклонах, а МПВ, наоборот, в циклонах. Более детальное сопоставление индекса радиевой активности с барическими системами дало следующие результаты:

1. МПВ наиболее радиоактивен в юго-восточном секторе циклона независимо от времени года.

2. КПВ в летнее время наиболее радиоактивен в юго-восточном секторе циклона или на периферии антициклона, обычно когда центр антициклона расположен на юго-востоке СССР (КПВ<sub>н</sub>).

3. В зимнее время большая радиоактивность КПВ наблюдалась исключительно на периферии антициклонов (КПВ<sub>н</sub>), причем числа, характеризующие радиоактивность КПВ, в зимнее время значительно выше, чем соответствующие значения в летнее время. Для индекса ториевой активности подобных закономерностей не наблюдается. Величина ториевой активности далеко не всегда соответствует величине радиевой активности. Максимальные значения радиевой активности только при высоких температурах сопровождаются повышенными значениями ториевой активности. При низких температурах значения ториевой активности малы независимо от величины радиевой активности.

г) Связь радиевой активности с вертикальной стратификацией атмосферы. Чтобы выяснить влияние устойчивости нижних слоев атмосферы на индекс радиевой активности были рассмотрены тефиграммы, полученные Аэрологической обсерваторией в Слуцке в дни наблюдений.

В табл. 5 даны средние значения индекса радиевой активности при устойчивой и неустойчивой стратификации атмосферы.

Таблица 5

Воздушная масса	Устойчивая стратификация		Неустойчивая стратификация	
	Индекс р. а.	Число измерений	Индекс р. а.	Число измерений
Без разделения на воздушные массы . . . . .	660	100	400	108
КПВ . . . . .	850	52	600	34
МПВ . . . . .	280	18	380	40

Из табл. 5 видно, что в среднем КПВ более радиоактивен при устойчивой стратификации атмосферы; МПВ, наоборот, более радиоактивен

при неустойчивой стратификации атмосферы. Этот результат вполне соответствует средней радиевой активности КПВ и МПВ в циклонах и антициклонах.

Большие значения радиевой активности КПВ в антициклонах в зимнее время очень часто наблюдались в устойчивом воздухе при низкой инверсии температуры. Но из подробного анализа материала видно, что устойчивость воздушной массы не является основным фактором, определяющим ее радиевую активность.

д) Связь радиевой и ториевой активности с метеорологическими факторами. Были сделаны сопоставления индексов радиевой и ториевой активности со следующими метеорологическими факторами: 1) температурой воздуха, 2) давлением, 3) изменением давления за сутки, 4) относительной влажностью, 5) абсолютной влажностью, 6) скоростью ветра и 7) направлением ветра.

Была получена ясная связь индекса ториевой активности с температурой воздуха. Коэффициент корреляции  $+0.70 \pm 0.04$ . Сопоставления индекса радиевой активности с метеорологическими факторами производились отдельно для зимнего и летнего полугодия. Была получена ясная связь индекса радиевой активности только с направлением ветра.

В табл. 6 даны коэффициенты корреляции между индексами радиевой и ториевой активности и некоторыми метеорологическими факторами.

Таблица 6

Метеорологические факторы	Ториевая активность		Радиевая активность			
	Коэффициент корреляции	Ошибка	Лето		Зима	
			Коэффициент корреляции	Ошибка	Коэффициент корреляции	Ошибка
Температура воздуха	$+0,70$	$\pm 0,04$	$+0,31$	$\pm 0,08$	$-0,14$	$\pm 0,08$
Давление . . . . .	$+0,10$	$\pm 0,08$	$-0,05$	$\pm 0,09$	$+0,21$	$\pm 0,08$
Возрастание давления	$-0,16$	$\pm 0,09$	$-0,22$	$\pm 0,08$	$+0,16$	$\pm 0,08$
Падение давления . .	$+0,18$	$\pm 0,08$	$+0,02$	$\pm 0,09$	$+0,04$	$\pm 0,08$
Скорость ветра . . . .	$+0,10$	$\pm 0,08$	$+0,23$	$\pm 0,08$	$+0,05$	$\pm 0,09$

Интересно отметить, что коэффициенты корреляции радиевой активности с температурой для зимнего и летнего времени имеют противоположные знаки. Отрицательный коэффициент для зимнего времени определяется высокой радиевой активностью КПВ при низких температурах. Коэффициенты корреляции с температурой отдельно радиевой активности в КПВ и радиевой активности в МПВ были получены следующие (табл. 7).

Таблица 7

Воздушная масса	Лето	Зима
КПВ . . . . .	$+0,12 \pm 0,09$	$-0,16 \pm 0,09$
МПВ . . . . .	$+0,23 \pm 0,08$	$+0,20 \pm 0,08$

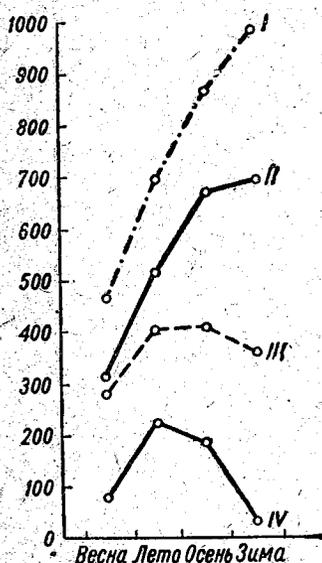
В табл. 8 даны средние значения радиевой активности при различных направлениях ветра.

Таблица 8

Направление ветра		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE
Лето	Индекс р. а. . .	230	320	380	600	700	350	—	300
	Число измерений	14	40	18	33	19	23	—	54
Зима	Индекс р. а. . .	850	570	340	690	910	1 060	1 950	350
	Число измерений	3	14	11	38	23	11	11	16

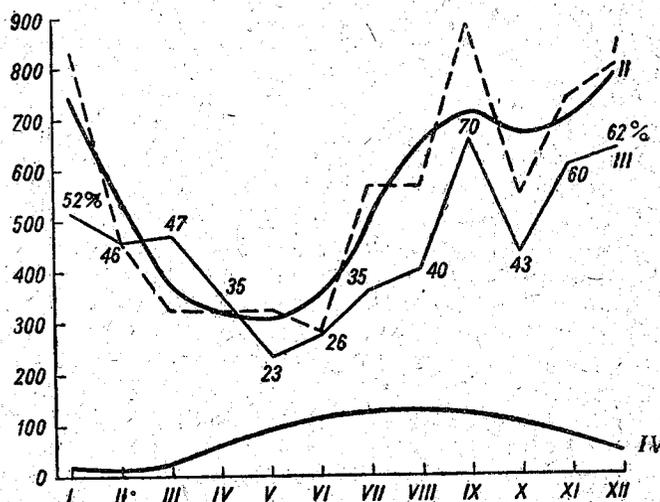
Из таблицы видно, что в летнее полугодие наибольшие значения радиевой активности наблюдаются при ветрах SW и S, в зимнее полугодие при ветрах S, SE и E. Следует отметить, что ветер из этих направлений чаще всего сопровождается притоком КПВ.

е) Годовой ход радиевой и ториевой активности. На черт. 2 представлено изменение радиоактивности воздуха по сезонам, причем отдельно показано изменение по сезонам индекса радиевой активности в КПВ и



Черт. 2. Сезонный ход Ra-и Th-активности.

I — Ra-активность в КПВ,  
II — Ra-активность,  
III — Ra-активность в МПВ,  
IV — Th-активность.



Черт. 3. Годовой ход радиевой и ториевой активности.

I — радиевая активность (несглаженные значения), II — радиевая активность (сглаженные значения), III — % повторяемости КПВ, IV — ториевая активность.

МПВ. Из графиков видно, что сезонный ход индекса радиевой активности совершенно отличен от сезонного хода индекса ториевой активности и определяется изменениями по сезонам индекса радиевой активности в КПВ. Кривая радиевой активности в КПВ круто поднимается от весны к зиме и имеет максимум в зимнее время.

Кривая изменения по сезонам индекса радиевой активности в МПВ очень похожа на кривую ториевой активности и имеет максимум в летние и осенние месяцы.

Более подробно годовой ход радиевой и ториевой активности изо-

бражен на черт. 3. Здесь представлена кривая, показывающая число измерений в КПВ в процентах к общему числу измерений радиоактивности за каждый месяц. Ход этой кривой почти параллелен в осенние и зимние месяцы кривой радиевой активности.

## § 5. Заключение

Полученные результаты говорят о том, что на колебания концентрации радиевых веществ в атмосфере в Слуцке имеет большое значение смена воздушных масс и барических образований над данным районом. Связь радиевой активности с этими факторами выступает яснее, чем связь с местными метеорологическими условиями. Наибольшей радиевой активностью обладает КПВ. Повидимому основную роль в радиоактивности воздушной массы играет ее происхождение и продолжительность пребывания над континентом.

Общепринятое воззрение, что почва является единственным источником радиоактивных веществ в атмосфере, а также большая продолжительность жизни эманации радия, вполне удовлетворительно объясняют полученные результаты.

Как показывает опыт, в воздушных массах одного и того же происхождения радиоактивность воздуха колеблется все же в довольно широких пределах.

Наши результаты дают некоторые указания на то, какие именно свойства имеют преобладающее значение для радиевой активности нижнего слоя воздушной массы данного происхождения.

Сезонный ход радиевой активности в КПВ, большая радиевая активность КПВ в антициклонах и, в особенности, на периферии антициклонов в зимнее время, а также непосредственные сопоставления радиевой активности в КПВ с вертикальной стратификацией атмосферы в Слуцке в день наблюдения (табл. 5), показывают, что большое и, возможно, преобладающее значение для радиевой активности нижнего слоя КПВ имеет устойчивость данной воздушной массы.

Чтобы показать, что устойчивость воздушной массы может иметь большое значение для концентрации эманации радия в нижнем слое воздуха, рассмотрим следующий простой пример: интенсивное вертикальное перемешивание воздуха происходит до высоты 200 м. На этой высоте находится мощная инверсия, и никакого перемешивания с более высокими слоями не происходит.

Если такое состояние продолжается достаточно долго, то при неизменной эксхалации должно установиться состояние равновесия, между притоком эманации из почвы и распадом находящейся в воздухе эманации. Тогда предельное количество эманации в колонке воздуха с основанием  $1 \text{ м}^2$  и высотой 200 м может быть вычислено по формуле:

$$a = N \lambda,$$

где  $a$  — эксхалация с  $1 \text{ м}^2$  за 1 секунду, в среднем может быть принята равной  $0,5 \cdot 10^{-12}$  кюри;  $N$  — количество эманации в колонке;  $\lambda$  — постоянная распада эманации.

При достаточно интенсивном перемешивании воздуха, приближенно концентрация эманации радия в  $1 \text{ м}^3$  будет равна:

$$n = \frac{N}{v} = \frac{a}{\lambda v},$$

где  $n$  — концентрация эманации в  $1 \text{ м}^3$ ,  $v$  — объем воздуха в колонке, т. е.  $200 \text{ м}^3$ .

Тогда для нашего случая

$$n = \frac{0,5 \cdot 10^{-12}}{2,1 \cdot 10^{-6} \cdot 200} = 1200 \cdot 10^{-12} \frac{\text{кюри}}{\text{м}^3}$$

Средняя концентрация вблизи земной поверхности считается равной

$$100 \cdot 10^{-12} \frac{\text{кюри}}{\text{м}^3}$$

Для взятого случая при средней экскаляции, концентрация emanации в воздухе получилась в 12 раз выше средней. Мощные инверсии на небольших высотах и даже начинающиеся у самой поверхности земли нередко встречаются на периферии антициклонов в зимнее время.

Полученные результаты для МПВ: большая радиевая активность в циклонах, чем в антициклонах, сезонный ход радиевой активности в МПВ, а также непосредственные сопоставления радиевой активности МПВ с вертикальной стратификацией атмосферы в Слуцке в день наблюдения, показывают, что для концентрации emanации радия в нижних слоях МПВ устойчивость воздушной массы не играет существенной роли.

Повидимому, вследствие непродолжительности пребывания МПВ над континентом преобладающее значение для насыщения его emanацией радия имеет интенсивность выделения emanации из почвы, которая должна быть выше при высокой температуре, быстром движении воздуха и падающем давлении.

Наши результаты не дали какой-либо определенной связи радиевой активности с метеорологическими факторами. Но все же коэффициенты корреляции радиевой активности с метеорологическими элементами, например, с температурой воздуха, для МПВ несколько выше, чем для КПВ. В тех же случаях, когда МПВ находится над континентом продолжительное время, он трансформируется в КПВ и, повидимому, наряду с другими свойствами КПВ приобретает и повышенную радиевую активность.

Обнаруженная в Слуцке, зависимость между радиоактивным режимом и воздушными массами, требует дальнейшего изучения. Представляет определенный интерес поставить подобные работы и в других районах, так как подтверждение и дальнейшее исследование полученной связи может оказаться полезным для изучения движения воздушных масс.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bondgards. Phys. L. S. Bd 27, 295 (1926).
2. Bondgards. Phys. L. S. Bd 25, 679 (1924).
3. Wigand und Wenht Ann. der. Physik. Bd 86, 657 (1928).
4. Lindemann. Dissert. Kiel. (1911).
5. E. Schmidt. Wien. Sitzber. IIa 140, 27 (1930).
6. Гесс. Ионизация атмосферы и ее причины.
7. Баранов. К вопросу о методах измерения радиоактивности атмосферы.

#### AIR RADIOACTIVITY AND AIR-MASSSES

By E. S. Merkulova

#### Summary

In the present paper are given the results of observations taken in the course of three years on radium- and thorium-activity of the atmosphere in Slutsk. The material has been examined in connection with the air-masses, the baric formations and meteorological factors.

For the radioactivity the following results have been received:

1. A distinct dependence of the regime of radioactivity upon the change of the air-masses.
2. A very great radioactivity of CPL (continental polar air) as compared with the radioactivity of other air-masses.
3. An especially great radioactivity of CPL inflowing from the stationary continental anticyclones at the winter period.
4. A different influence of some factors, as, for instance, of the stability of the air-masses and the temperature on the radioactivity in MPL (marine polar air) and CPL and a different seasonal course of radioactivity in MPL and CPL.

For thorium activity the following results have been received:

1. A high coefficient of the correlation between the values of thorium activity and air-temperature on the day of observation.
2. Both the seasonal and annual course of thorium activity strongly differ from the seasonal course of radioactivity. Especially strongly differs the seasonal course of thorium activity from that of radioactivity in CPL.

## О РАДИОАКТИВНОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

### § 1. Введение

Изучение радиоактивности атмосферных осадков было начато в 1902 г., когда С. Т. Р. Вильсон [1] впервые показал, что свежеснеженный дождь содержит радиоактивные вещества. Несколько позднее была обнаружена и радиоактивность снега, причем оказалось, что последняя значительно больше, чем радиоактивность дождя. Представления о причинах радиоактивности осадков были даны последующими авторами, в частности, Goskel'em и Wulf'ом [2].

Данные исследований большинства авторов находятся в полном согласии с гипотезой, по которой наделение осадков радиоактивными продуктами происходит вследствие того, что капли дождя или хлопья снега при своем падении захватывают парящие в воздухе частицы радиоактивных веществ и уносят их с собой на землю. Замечено, что после длительного периода выпадения осадков степень их активности заметно падает, что объясняется постепенным вымыванием радиоактивных веществ из воздуха.

В пользу такого предположения о наделении осадков радиоактивными продуктами говорят и исследования Laufmann'a [3]. Произведенные исследования на высокой горе (Zugspitze) дали ничтожно малое значение для активности осадков.

В прямом согласии с этой гипотезой находится и ряд косвенных наблюдений над радиоактивностью атмосферы. Так, например, Lennap [4], а также Masek и Illing [5] показали, что содержание радиоактивных веществ в атмосфере после длительного выпадения дождя или снега значительно уменьшается по сравнению с их количеством при нормальном состоянии.

Несмотря на такие довольно убедительные факты некоторые из более поздних исследователей на процесс появления активных веществ в атмосферных осадках придерживаются совершенно противоположного высказанному выше взгляда. Активность атмосферными осадками по их мнению приобретает не в момент их выпадения, а задолго до этого, во время образования капель дождя или хлопьев снега в воздухе.

В частности Priebisch [6] дает для момента времени активирования результат, полученный им из сравнения экспериментальных кривых с теоретическими кривыми распада, который не подтверждает общепринятой теории, а находится в согласии с последним предположением о возникновении активности в процессе образования гидрометеоров.

В настоящей работе, попутно с исследованием количественного содержания радиоактивных веществ в осадках, были проделаны расчеты по оценке времени активирования. Результаты этих расчетов находятся в полном согласии с гипотезой, по которой наделение радиоактивными продуктами атмосферных осадков происходит в момент их падения.

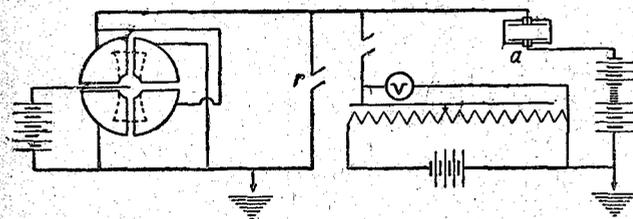
## § 2. Метод наблюдений

Исследования содержания радиоактивных веществ в осадках производились при помощи установки, состоящей из ионизационной камеры с присоединенным к ней квадрантным электрометром Дозалека. Ионизационная камера имеет цилиндрическую форму с диаметром 16 см. Сквозь янтарь, помещенный в верхней крышке камеры, пропущен штифт, соединенный с одной из пар квадрантов электрометра (вторая пара квадрантов заземлена). На нижнем конце штифта прикреплен металлический диск диаметром 15 см.

На дне камеры на эбонитовых подставках укреплен второй металлический диск, на который во время исследования ставится чашечка с содержащимися в ней осадками. Расстояние между этими двумя дисками составляет 8 см и выбрано именно таким с целью использовать ионизацию  $\alpha$ -частицей на протяжении всей длины ее пробега. В провод, соединяющий верхний диск камеры с одной из пар квадрантов электрометра, помещен ключ  $r$  для отвода в нужные моменты заряда к земле (черт. 1).

Схема, составленная из вольтметра, батареи и реостата, служит для градуировки электрометра и на время самого измерения от установки отключается.

Во время исследования чашечка с осадками помещается на нижний диск, а на клемму  $a$ , проходящую сквозь дно камеры, дается напряжение, достаточное чтобы в камере создать ток насыщения (около 150 вольт).



Черт. 1.

На бисквит электрометра подается постоянное напряжение от аккумуляторных батарей, порядка 50–80 вольт. Емкость установки, определенная по методу Гармса, оказалась равной 69,3 см.

Собирание осадков производилось с помощью специально для этой цели сделанных железных листов, что дает возможность уменьшить время собирания и использовать для наблюдений дождь или снег малой интенсивности, чего нельзя иногда сделать, если пользоваться для этого площадью самой чашечки. Время собирания осадков отмечалось точно по секундомеру.

В целях упрощения вычислений полученных при обработке результатов, собирание осадков производилось через определенные промежутки времени, например, через 5, 10, 20, 30 и 60 минут, для которых заранее вычислена поправка, учитывающая распад радиоактивного вещества за время собирания.

## § 3. Теория опыта

Содержание радиоактивных веществ в осадках измерялось по  $\alpha$ -излучению. Ток в камере обуславливается ионизацией, получаемой от действия  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений, находящихся в осадках радиоактивных веществ.

При изучении содержания активных продуктов в рассмотрение принималось только лишь  $\alpha$ -излучение, а  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучение, ввиду их относительно малой ионизационной способности, совершенно не учитывались.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Расчеты, проведенные с целью учесть возможную при таком допущении погрешность, показали, что в условиях установки используемой в моей работе, при наличии равновесия

Как известно, в атмосферных осадках содержатся продукты распада эманации радия — RaA, RaB и RaC. Сама эманация в заметной мере в осадках не содержится, что было уже доказано многими предыдущими исследователями и что непосредственно можно видеть из полученных кривых распада.

Ряды тория и актиния из рассмотрения исключены. Хотя и доказано, что в атмосферных осадках содержатся продукты распада эманации тория — ThB и ThC, все же, вследствие их относительно малой концентрации с продуктами эманации радия и, сравнительно большего периода полураспада, они заметного влияния при наблюдении не оказывают.<sup>1</sup>

Таким образом, для силы тока, обусловливаемой ионизацией  $\alpha$ -излучений RaA, RaB и RaC в момент времени  $t$  будем иметь уравнение

$$i = e \left\{ n_1 \left[ K_1 \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + K_3 \lambda_3 \left( \frac{\lambda_1 \lambda_2 e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} + \frac{\lambda_1 \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} + \frac{\lambda_1 \lambda_2 e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \right) \right] + n_2 K_3 \lambda_3 \left( \frac{\lambda_2 e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_3 - \lambda_2} - \frac{\lambda_2 e^{-\lambda_3 t}}{\lambda_3 - \lambda_2} \right) + n_3 K_3 \lambda_3 e^{-\lambda_3 t} \right\} \quad (1)$$

где  $\lambda_i$  — постоянные распада;  $K_1 = 1.70 \cdot 10^5$ ;  $K_3 = 2.2 \cdot 10^5$  — число пар ионов, образуемых  $\alpha$ -частицей RaA и RaC соответственно ( $K_2 = 0$ , так как RaB  $\alpha$ -частиц не испускает);  $e$  — заряд иона.

Формула (1) дает зависимость между силой тока  $i$  и тремя неизвестными  $n_1$ ,  $n_2$  и  $n_3$  — числами атомов RaA, RaB и RaC. Производя во время наблюдения три отсчета силы тока при различных  $t$ , мы получим систему из трех алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= a_{11} n_1 + a_{12} n_2 + a_{13} n_3 \\ i_2 &= a_{21} n_1 + a_{22} n_2 + a_{23} n_3 \\ i_3 &= a_{31} n_1 + a_{32} n_2 + a_{33} n_3 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где коэффициенты  $a$  являются функцией  $t$ . Первый индекс при  $a$  обозначает время, к которому относится наблюдаемая сила тока.

Очевидно, для решения данной системы достаточно сделать 3 отсчета, но в целях контроля наблюдений таких отсчетов делалось несколько более. Таким образом, для одного и того же случая мы можем получить 2 системы уравнений, результаты которых, при условии правильного ведения опыта, должны совпадать.

Для упрощения вычислений, отсчеты силы тока следует производить через определенные промежутки времени, что даст возможность составить схему из 3 уравнений, в которой коэффициенты при  $n$  для всех наблюдений с одинаковым временем отсчета будут величиной постоянной, а изменяться в отдельных случаях будет только левая часть, характеризующая собой наблюдаемую силу тока.<sup>2</sup>

Составленный определитель для такой системы при определенных  $t$  в данном случае окончательно помогает упростить все вычисления. В качестве примера приведем следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= e [11,95 n_1 + 1,22 n_2 + 7,83 n_3]; & t_1 &= 6 \text{ минут} \\ i_2 &= e [2,27 n_1 + 2,12 n_2 + 5,71 n_3]; & t_2 &= 15 \text{ минут} \\ i_3 &= e [2,30 n_1 + 2,89 n_2 + 4,02 n_3]; & t_3 &= 25 \text{ минут} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

между RaA, RaB и RaC, ионизация от  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений будет составлять не более 2% ионизации, обусловленной  $\alpha$ -излучением. Для наиболее крайнего случая, имеющего место в моей работе, когда количества RaA, RaB и RaC стоят в отношении 1:50:35, максимальная величина ионизации от  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений не превосходит 49/100.

<sup>1</sup> Ионизация, обусловленная  $\alpha$ -излучением ThB и ThC будет составлять не более 0,001% ионизации, получаемой от наличия радиевых индукций.

<sup>2</sup> Коэффициенты при  $n_1$ ,  $n_2$  и  $n_3$ , согласно ниже приведенной поправке на поглощение  $\alpha$ -частиц жидкостью, изменены.

Методику наблюдений в условиях данной установки можно производить одним из двух вариантов. Пользуясь тем, что продукты распада эманации RaA, RaB и RaC — твердые вещества, мы можем собранные осадки первоначально выпарить и полученный остаток подвергнуть исследованию. Но такой метод исследования связан с излишней затратой времени и, что самое главное, может внести некоторые погрешности в окончательные результаты.

Если исследование осадков производить без выпаривания последних, то при вычислениях в формуле (1) коэффициенты  $K$  должны быть, в связи с поглощением  $\alpha$ -частиц самой жидкостью, соответствующим образом изменены. В исправленном виде они будут в несколько раз меньше тех, которые даны выше.

Для вычисления нужной поправки мы используем задачу, решенную Schweidler'ом [7], в которой определяется ионизация газа  $\alpha$ -частицами от некоторого слоя радиоактивного вещества. Данное вычисление основано на известном распределении ионизирующей способности  $\alpha$ -частицы вдоль своего пути пробега.

По закону Гайгера скорость  $\alpha$ -частицы и ее остаточный пробег связаны следующим соотношением

$$v^3 = ar_1. \quad (4)$$

В таком случае ионизационная способность  $\alpha$ -частицы в данной точке пути, как величина обратная скорости представится

$$g = br_1^{-\frac{1}{3}}. \quad (5)$$

Полная ионизация, произведенная одной  $\alpha$ -частицей на всей длине своего пути будет равна

$$K_0 = \int_0^r b_1 r_1^{-\frac{1}{3}} dr = K_1 r^{2/3}. \quad (6)$$

Исходя из этих соображений Schweidler, для числа пар ионов, образуемых действием  $\alpha$ -частиц плоского параллельного слоя радиоактивного вещества толщиной  $h$ , получим следующее выражение:

$$Q_h = \frac{3}{10} NK_0 R^{2/3} \left\{ 1 - (1 - \delta)^{2/3} + \frac{5}{3} (1 - \delta)^{2/3} \delta - \frac{5}{9} \delta_2 \lg \frac{1 - (1 - \delta)^{1/3} + (1 - \delta)^{2/3}}{1 - 2(1 - \delta)^{1/3} + (1 - \delta)^{2/3}} + \frac{10}{9} \sqrt{3} \delta_2 \left[ \operatorname{arctg} \frac{2(1 - \delta)^{1/3} + 1}{\sqrt{3}} - \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{3}} \right] \right\} \quad (7)$$

где  $\delta = \frac{h}{R}$  и  $R$  длина пробега  $\alpha$ -частиц в воде.

В условиях нашей установки измеряемая ионизация будет обусловлена только наличием верхнего слоя жидкости, толщина которого равна длине пробега  $\alpha$ -частицы RaC в воде. Слой жидкости, находящийся ниже указанного, в данном случае никакой роли играть не будет.

Из экспериментальных данных имеем, что слой воды, который может пройти  $\alpha$ -частица RaC равен 60  $\mu$ . Умножая данный результат на соотношение пробегов  $\alpha$ -частиц RaA и RaC, мы получим слой жидкости с нижней поверхности, которого  $\alpha$ -частица RaA имеет возможность вылететь наружу. Таким образом, количество осадков, обуславливающих ионизацию в камере, определится.

Полагая в формуле (7)  $h=R$ , получим

$$Q_R = \frac{3}{10} NK_1 R^{5/3} \quad (8)$$

число пар ионов, образуемых  $\alpha$ -излучением радиоактивного слоя, толщина которого равна  $R$ .

В случае отсутствия поглощающего слоя число пар ионов, получаемых от действия того же количества радиоактивного вещества, будет равно

$$Q_0 = K_1 N \int_0^R R^{5/3} dh = K_1 NR^{5/3}. \quad (9)$$

Окончательно нужный нам поправочный множитель на коэффициенты  $K$  в формуле (1) мы получим в виде

$$\rho = \frac{Q_R}{2Q_0}. \quad (10)$$

(Двойка в знаменателе вводится вследствие того, что в условиях установки измеряется только половина всей ионизации, вторая часть теряется в жидкости и никакого эффекта не дает.)

Подобный учет поглощения  $\alpha$ -частиц жидкостью существенным образом меняет результаты, хотя многими из предыдущих исследователей он в расчет не принимался.

Найденные путем решения системы уравнений (2) числа  $n_1$ ,  $n_2$  и  $n_3$  будут определять содержание радиоактивных веществ в осадках к моменту окончания их собирания (выбранному за начальный момент) и, конечно, не будут представлять числа частиц фактически выпавших, так как значительная часть вещества успеет распасться за то время, которое потребуется для их собирания.

Поэтому для определения содержания радиевых продуктов в осадках более точно необходимо ввести поправку, учитывающую распад радиоактивного вещества за время собирания. Для этого обозначим числа выпавших частиц  $RaA$ ,  $RaB$  и  $RaC$  за время  $\tau$  через  $N_1$ ,  $N_2$  и  $N_3$ . Отсюда, допуская, что выпадение осадков за указанное время происходит равномерно для числа частиц, выпавших за 1 секунду трех указанных радиоактивных веществ, соответственно будем иметь

$$\frac{N_1}{\tau}, \quad \frac{N_2}{\tau} \quad \text{и} \quad \frac{N_3}{\tau}.$$

Здесь следует заметить, что такое допущение о равномерном выпадении гидрометеоров не является вполне строгим и верно лишь приближенно. Применяя те же самые формулы распада радиоактивных веществ, для зависимости между полученными числами  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  и числами атомов  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ , находящимися в осадках в момент их выпадения на землю, получим следующие соотношения:

для  $RaA$ :

$$n_1 = \int_0^{\tau} \frac{N_1}{\tau} e^{-\lambda_1 t} dt = \frac{N_1}{\tau \lambda_1} (1 - e^{-\lambda_1 \tau}); \quad (11)$$

для  $RaB$ :

$$\begin{aligned} n_2 &= \int_0^{\tau} \frac{N_1 \lambda_1}{\tau (\lambda_2 - \lambda_1)} [e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}] dt + \int_0^{\tau} \frac{N_2}{\tau} e^{-\lambda_2 t} dt = \\ &= \frac{N_1 \lambda_1}{\tau (\lambda_1 - \lambda_2)} \left[ \frac{1 - e^{-\lambda_2 \tau}}{\lambda_2} - \frac{1 - e^{-\lambda_1 \tau}}{\lambda_1} \right] + \frac{N_2}{\tau \lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 \tau}). \end{aligned} \quad (12)$$

Аналогично, для RaC:

$$\begin{aligned}
 n_3 = & \int_0^{\tau} \frac{N_1}{\tau} \left[ \frac{\lambda_1 \lambda_2 e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} + \frac{\lambda_1 \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} + \frac{\lambda_1 \lambda_2 e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \right] dt + \\
 & + \int_0^{\tau} \frac{N_2 \lambda_2}{(\lambda_2 - \lambda_3) \tau} [e^{-\lambda_3 t} - e^{-\lambda_2 t}] dt + \int_0^{\tau} \frac{N_3}{\tau} e^{-\lambda_3 t} dt = \\
 = & \frac{N_1}{\tau} \left[ \frac{\lambda_1 \lambda_2 (1 - e^{-\lambda_1 \tau})}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \lambda_1} + \frac{\lambda_1 \lambda_2 (1 - e^{-\lambda_2 \tau})}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2) \lambda_2} + \frac{\lambda_1 \lambda_2 (1 - e^{-\lambda_3 \tau})}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3) \lambda_3} \right] + \\
 & + \frac{N_2 \lambda_2}{\tau (\lambda_2 - \lambda_3)} \left[ \frac{1 - e^{-\lambda_3 \tau}}{\lambda_3} - \frac{1 - e^{-\lambda_2 \tau}}{\lambda_2} \right] + \frac{N_3}{\tau \lambda_3} [1 - e^{-\lambda_3 \tau}]. \quad (13)
 \end{aligned}$$

Для некоторых промежутков времени имеем следующие цифровые данные:

$$\begin{aligned}
 \tau = 10 \text{ минут} \quad n_1 &= 0,338 N_1 \\
 n_2 &= 0,54 N_1 + 0,88 N_2 \\
 n_3 &= 0,04 N_1 + 0,101 N_2 + 0,84 N_3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau = 20 \text{ минут} \quad n_1 &= 0,216 N_1 \\
 n_2 &= 0,77 N_1 + 0,63 N_2 \\
 n_3 &= 0,09 N_1 + 0,14 N_2 + 0,74 N_3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau = 30 \text{ минут} \quad n_1 &= 0,147 N_1 \\
 n_2 &= 0,57 N_1 + 0,622 N_2 \\
 n_3 &= 0,181 N_1 + 0,111 N_2 + 0,616 N_3
 \end{aligned}$$

Приведенные здесь соотношения ясно показывают на необходимость введения поправки такого рода, так как кроме того что полученные числа частиц значительно преуменьшены по сравнению с истинными, но к тому же, вследствие различных периодов полураспада RaA, RaB и RaC, сильно искажены.

В качестве примера приведем два наблюдения: одно 3 декабря 1935 г. для дождя и, второе, для снега — 16 декабря 1935 г.

$$\begin{aligned}
 11,95 \quad n_1 + 1,22 \quad n_2 + 7,83 \quad n_3 &= 121623; \quad n_1 = 1299; \quad N_1 = 3841 \\
 2,75 \quad n_1 + 2,12 \quad n_2 + 5,71 \quad n_3 &= 101899; \quad n_2 = 16972; \quad N_2 = 17041 \\
 2,3 \quad n_1 + 2,89 \quad n_2 + 4,02 \quad n_3 &= 95931; \quad n_3 = 10912; \quad N_3 = 10767 \\
 29,63 \quad n_1 + 0,465 \quad n_2 + 9,02 \quad n_3 &= 96725; \quad n_1 = 294; \quad N_1 = 2001 \\
 5,3 \quad n_1 + 1,825 \quad n_2 + 6,81 \quad n_3 &= 89714; \quad n_2 = 14735; \quad N_2 = 19645 \\
 2,22 \quad n_1 + 2,69 \quad n_2 + 4,79 \quad n_3 &= 83420; \quad n_3 = 8998; \quad N_3 = 10545
 \end{aligned}$$

#### § 4. Результаты наблюдений

В нижеследующих двух таблицах приведены результаты исследования содержания радиевых продуктов в дожде и снеге. Наблюдения проведены за некоторые месяцы 1935—36 гг. в Слуцке.

В табл. 1 и 2 представлено количество эманации, находящееся в равновесии с указанными продуктами распада и выраженное в кюри (\* обозначает, что к моменту начала наблюдения RaA в осадках отсутствовал).

Таблица 1  
Радиоактивность дождя (Слуцк)

Дата	Часы, минуты	Время собирания мин.	кюри/г	Вид осадков
22 VII	14—23	5	$3,5 \cdot 10^{-10}$	Осадки ливневые
22 VII	15—28	5	2,8	
26 VII	16—02	10	4,5	Дождь умеренный, обложной
21 X	11—00	10	4,9	
19 X	11—45	10	20,9	Дождь слабый, мелкими каплями
19 X	12—28	60	9,5	
29 X	13—03	30	5,2	Дождь моросящий
29 X	13—52	30	7,1	
29 X	14—48	30	3,9	Дождь крупный, умеренный
3 XII	12—18	10	2,3	
3 XII	13—40	30	3,8	Дождь крупный, интенсивный
3 XII	14—18	20	1,9	
3 XII	15—43	10	13,3	Дождь моросящий, обложной
3 XII	16—22	10	2,6	
3 XII	17—06	10	3,8	Дождь моросящий, обложной
4 I	10—20	10	1,0	
Среднее значение . . .			$5,7 \cdot 10^{-10}$	

Как показывают приведенные здесь результаты, радиоактивность меняется в довольно широких пределах.

Для дождя максимальное значение  $20,9 \cdot 10^{-10} \frac{\text{кюри}}{\text{г}}$ , минимальное значение  $1,0 \cdot 10^{-10} \frac{\text{кюри}}{\text{г}}$ .

Для снега максимальное значение  $42,2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{кюри}}{\text{г}}$  и минимальное значение  $0,4 \cdot 10^{-10} \frac{\text{кюри}}{\text{г}}$ .

В среднем радиоактивность снега, примерно в 2,5 раза больше, чем радиоактивность дождя, что также имеет место в большинстве данных, полученных предыдущими авторами.

Полученное значение радиоактивности осадков несколько более тех, которые приведены в работах других исследователей.

Нужно указать, что одной из хороших сторон данного метода исследования является возможность получить содержание радиоактивных продуктов раздельно друг от друга, что в некоторых случаях позволяет решить вопрос в пользу одной из двух вышеприведенных гипотез относительно времени и процесса активирования осадков.

Если встать на точку зрения Priebisch'a, т. е. принять, что активирование осадков происходит и заканчивается задолго до их падения, то как результат этого мы должны получить большое превалирование RaB над его равновесным значением с RaA, которое определяется равенством

$$N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2.$$

В действительности мы этого не наблюдаем, и если в некоторых случаях имеется некоторый избыток RaB, то такие единичные случаи никоим

Таблица 2  
Радиоактивность снега (Слуцк)

Дата	Часы, минуты	Время собирания мин.	кюри/г	Вид осадков
26 X	10—36	60	$30 \cdot 10^{-10}$	Снег мелкий, слабый
28 XI	12—13	5	3,2	Крупный, интенсивный, хлопьями
16 XII	12—02	30	0,5	
16 XII	12—58	30	*	Снег крупными хлопьями, интенсивный
16 XII	14—06	30	7,0	
16 XII	15—53	30	2,0	
22 XII	11—45	30	4,1	
22 XII	12—30	30	8,1	
22 XII	13—40	30	14,8	Снег мелкий, узорчатый, слабой и умеренной интенсивности
22 XII	14—50	30	16,4	
22 XII	15—56	30	16,6	
22 XII	16—23	30	20,1	
3 I	10—20	30	11,9	
4 I	12—10	30	29,7	Сильный, мелкий снег
4 I	15—05	30	3,4	
8 I	10—04	30	14,3	Снег умеренный, непрерывный
8 I	10—52	20	3,3	
11 I	13—03	30	3,2	Снег умеренный, крупный с переходом в мелкий
11 I	13—23	30	16,3	
14 I	10—40	30	*	Слабый и очень мелкий снег (утром туман)
14 I	11—23	30	21,0	
14 I	11—50	60	42,4	
14 I	13—20	30	26,8	
15 I	11—03	60	*	
16 I	10—25	60	35,9	Снег мокрый, крупный
20 I	9—45	30	31,5	Снег мелкий непрерывный
20 I	10—43	30	35,6	Снег умеренный, мелкий, непрерывный
20 I	13—20	30	4,9	
27 I	9—45	30	0,4	Снег умеренный, не крупный с перерывами
27 I	10—32	20	27,0	
1 II	10—43	30	15,2	Снег мелкий, узорчатый из сплошного покрова
8 II	10—40	30	17,2	Снег мелкий, умеренный, непрерывный с переходом в интенсивный
8 II	11—30	30	6,5	
8 II	14—35	5	0,8	
Среднее значение . . .			$1,51 \cdot 10^{-10}$	

образом не могут являться достаточным основанием для построения теории.

В большинстве случаев имеет место или равновесное состояние между RaA и RaB или избыток RaA. После продолжительного выпадения гидрометеоров, когда можно считать, что продукты распада эманации RaB и RaC в атмосфере отсутствуют, мы получаем в таких случаях для RaB значение гораздо ниже того, которое соответствовало бы равновесию с имеющимся количеством RaA.

Такие случаи, когда можно полагать, что каплями дождя или хлопьями снега захватываются только частицы RaA, а RaB и RaC получают как переходящие продукты уже отложившегося RaA, дают возможность оценить момент времени начала активирования.

Такой подсчет, сделанный для некоторых наблюдений, дал следующие результаты относительно промежутка времени между началом активирования осадков и моментом их падения на землю (табл. 3).

Приводимые в таблице данные для промежутка времени активирования

явно противоречат гипотезе Priebisch'a, но находятся в согласии с тем предположением, что активность атмосферными осадками приобретает именно во время их падения.

Если во всех случаях наблюдений исходить из того положения, что активирование происходит через первоначальное отложение RaA, что

Таблица 3

Время наблюдения	Число атомов		Время активирования
	RaA	RaB	
19 X	20 861	2 780	35 сек.
3 XII	3 846	17 041	7 мин. 18 сек.
14 I	26 768	44 400	4 мин. 40 сек.
16 I	35 879	5 740	39 сек.
20 I	34 581	12 904	1 мин. 32 сек.

как раз и делает Priebisch, то максимальное значение для времени активирования в нашей работе получим 25 минут (27 января 1936 г.).

Ясно, что такое предположение не соответствует действительности, поскольку RaB и RaC, так же как и RaA, находятся в атмосфере и могут быть непосредственно захвачены осадками, но положенное в основу при оценке времени активирования приводит к тому, что это время получается преувеличенным, примерно, на 10,8 мин.

Сопоставление найденных результатов радиоактивности с характером самих осадков также находится в прямом противоречии с положением Priebisch'a. Мелкие хлопья снега, образовавшиеся на большой высоте, где концентрация радиевых продуктов значительно меньше, чем в нижних слоях атмосферы, дают большую радиоактивность по сравнению с крупными, образовавшимися на небольших высотах.

Такое повышенное значение радиоактивности мелких капель и снежинок объясняется тем, что для одной и той же массы осадков их поверхность соприкосновения с воздухом будет значительно больше, чем у крупных и, кроме того, мелкие капли падают значительно медленнее по сравнению с крупными. Все это создаёт для слабых осадков наиболее благоприятные условия активирования, чем для осадков интенсивных, вследствие чего слабые осадки и являются более радиоактивными.

Таким образом, полученные выводы заставляют принять то предположение, что наделение осадков активными продуктами происходит чисто механическим путем при падении их в воздухе, содержащем продукты распада эманации — радиоактивные индукции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Wilson, C. T. R. Proc. Camb. Phil. **11**, 428, 1902, **22**, 17, 85, 1903 г.
2. Lennan. Radioactive Rain and Snow. Read Before the Amer. Phys. Soc. at Washington.
3. Gockel und Wulfi. Phys. Z. **9**, 907, 1908.
4. Laufmann. Met. Zeit. **24**, 307, 1907.
5. Macek und Illing. Gerl. Beiträge zur Geoph. B. 44, 388, 1935.
6. Priebisch. Gerl. Beitr. zur Geoph. B. 36. 1932 г.
7. Оболенский В. Радиоактивность осадков по наблюдениям проникающей радиации. Метеорологический Вестник 1—6 1919 г.
8. Курчатов И. К вопросу о радиоактивности снега. Журн. Геофиз. и Метеор. 1925 г.
9. Schweidler. Phys. Zeit. **14**, 812, 1913 г.

# ON THE RADIOACTIVITY OF ATMOSPHERIC PRECIPITATIONS

By *A. Pershin*

## Summary

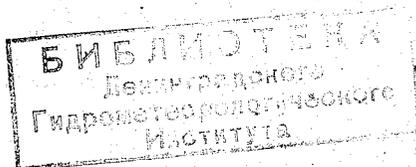
Fifty observations of the contents of radioactive substances in atmospheric precipitations have been taken in Slutsk. For measurements a device has been used consisting of a ionization camera and a Dolesalec electrometer.

The necessary correction to the absorption of  $\alpha$ -particles by the water has been made in the computation.

Proceeding from the condition that the radioactive inductions in the precipitations are in equilibrium with the emanation the quantity of RaEm has been computed.

Simultaneously with the receipt of the quantitative data the question of the time and the process of activation of the precipitations has been solved. It has been established that the precipitations acquire radioactivity purely mechanically during their fall.

The mean value of the radioactivity of rain proved  $= 5,7 \cdot 10^{-10} \frac{\text{curie}}{\text{gram}}$ ; of snow  $= 15,1 \cdot 10^{-10} \frac{\text{curie}}{\text{gram}}$ .



Ответственный редактор *П. Н. Тверской.*

Корректор *Г. М. Митрофанов.*

Техред *Т. Л. Лейкина.*

Леноблгорлит № 5917. Издание № 108. Сдано в набор 21/X 1937 г. Подписано к печати 11/XII 1937 г. Колич. учетно-авт. листов 6. Печ. л. 3 $\frac{1}{2}$ . Колич. бум. лист. 1 $\frac{3}{4}$ . Колич. зн. на бум. листе 139 000. Стат. форм. бум. 70  $\times$  108 $\frac{1}{4}$ . Заказ № 2279. Тираж 800 экз.

2-я типо-литография Гидрометеоздата, Ленинград, набережная 9 Января, 32.