


ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА АТМОСФЕРНЫХ ИОНОВ, ГИГИЕНИЧЕСКОЕ И БИОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ИОНИЗАЦИИ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ В г. ТАРТУ

П. К. Прюллер

1. Введение

Длительные исследования атмосферной ионизации важны для изучения физики атмосферы, гигиенической оценки чистоты воздуха городов и промышленных районов, а также для биометеорологических исследований в медицине и в курортологии при изучении влияния окружающей среды на человека [Минх, 1963]. Результаты изучения влияния ионизации воздуха и электроаэрозолей на живые организмы в настоящее время широко применяются в медицине для физиологических исследований и терапии [Васильев, 1953]. Однако не всегда имеются подходящие условия для тесной координации исследований специалистов из различных областей науки. В Тартуском государственном университете (ТГУ) на физико-химическом и медицинском факультетах, обладающих большими научными традициями, существовали вполне определенные предпосылки для проведения комплексных исследований [Рейнет и соавторы, 1963; Прюллер и соавторы 1963 б; Сийрде, 1966].

В центре г Тарту в 1951 г и с VIII 1960 по VII 1963 гг производились систематические измерения концентрации атмосферных ионов с помощью установленного в главном здании ТГУ комбинированного счетчика ионов [Рейнет, 1955, 1956]. Этот счетчик, работающий по методу заряжен  или заземляемой внутренней обкладки, состоит из конденсатора легких ионов, снабженного защитой Сванна для устранения краевого эффекта, и конденсатора тяжелых ионов. Комбинированный счетчик ионов в 1959—1960 гг. был перестроен автором настоящей работы совместно с О. Саксом и приспособлен для работы с автоматическим фоторегистратором либо с динамическим электрометром и регистрирующим прибором [Сакс, 1956; 1963]. В результате перестройки было практически полностью устранено влияние поляризации в

изоляторах и заметно сокращено время, необходимое для измерений.

В 1951 г. Я. Рейнет и Х. Марран измеряли от 3 до 24 раз в сутки концентрации легких и тяжелых ионов [Рейнет, 1958а, б; Марран, 1958]. Всего было сделано 19 440 измерений с визуальной регистрацией.

В 1960—1963 гг. автор настоящей работы измерял концентрации легких ионов с VIII 1960 по VII 1963 г. и наряду с этим концентрации тяжелых ионов с VIII 1960 по XII 1962 г. 4 или 8 раз в сутки, всего 38 817 трехминутных измерений [Прюллер и соавторы, 1963 а; 1966 а, б; Prüller, Reinet, 1966]. При этих измерениях комбинированный счетчик ионов был снабжен аппаратурой для автоматической фотографической регистрации показаний электрометра СГ-1М [Saks, 1956] либо динамическим электрометром [Сакс, 1963] и самописцем.¹ Счетчиком с динамическим электрометром в 1962 г. измерения проводились 4 сутки в месяц, всего в течение 55 суток, и в августе 1963 г. в течение 10 суток. Всего произведено 65 суток или 1560 часов круглосуточной непрерывной регистрации концентрации положительных средних ионов с предельной подвижностью $k_0 = 0,02$ см²/сек в. Работа, выполненная в 1960—1963 гг. по своему общему объему (40 377 трехминутных и часовых измерений) превосходит любое из проведенных ранее исследований ионизации атмосферы в приземном слое.

В международном масштабе начиная с 1920 г. проведено около 150 кратковременных исследований ионизации атмосферы, продолжавшихся обычно менее года (из них в СССР приблизительно 120). Особый интерес к исследованиям ионизации атмосферы проявляется в многочисленных измерениях, проведенных на курортах [Е. А. Чернявский, Узбекистан, Ф. Г. Портнов и Н. С. Темникова, Рига и ее окрестности; Б. И. Стыро, Паланга; С. М. Чубинский, В. Г. Поздеев, Л. А. Сергеев и Р. А. Дубинский, Кавказ; Т. В. Кудрявцева, Алтай; Н. М. Комарова, курорты СССР; П. Д. Ксенофонтова, Томск и т. д.]. Результаты этих измерений часто трудно сравнить между собой вследствие разнотипности применяемых счетчиков и различий в методике наблюдений. Исключение составляет лишь ряд исследований, посвященных измерению спектра атмосферных ионов [Цванг, Комаров, 1959; Yunker, 1940; Siksna, 1952, 1953; Рейнет, 1959; Misaki, 1961, 1968].

¹ Описание применяемой аппаратуры при измерениях с 1960 по 1963 гг. дано в настоящем сборнике в статье: «П. Прюллер и О. Сакс. Счетчик атмосферных ионов с автоматическим фоторегистратором и динамическим электрометром».

2. Цель и методика исследования

Исследования естественной ионизации проводились в 1960—1963 гг с целью получения комплексной ионизационной и метеорологической характеристики атмосферного воздуха, позволяющей связывать биологические наблюдения с определенными физическими параметрами. Конкретизируя поставленную задачу, необходимо выделить следующие основные разделы.

1) Получение достоверных данных о нормальной естественной ионизации воздуха в приземном слое атмосферы. Кроме уточнения известных в общих чертах годовых и суточных вариаций, необходимо было ответить на вопрос о наличии или отсутствии заметного векового хода концентрации ионов. Это можно было сделать путем сравнения полученных данных с данными измерений, проведенных в том же пункте 10 лет назад в 1951 г.

2) Выяснение общей структуры спектра атмосферных ионов и корреляционной связи между атмосферной ионизацией и метеорологическими элементами (применяя для расчетов электронно-вычислительную машину)

3) Проверка репрезентативности наблюдений, проводимых в условиях небольшого города (типа г. Тарту) Для этого требовалось организовать одновременные измерения в двух различных пунктах с помощью счетчиков, снабженных самопишущей аппаратурой. Полученные данные можно использовать также для характеристики короткопериодических колебаний концентрации ионов.

4) Исследование годового и суточного хода концентрации аэрозолей и плотности объемного заряда по данным измерений концентрации ионов. Это представляет также методический интерес, так как непрерывная регистрация концентрации аэрозолей другими способами трудна и требует автоматизации аппаратуры, приспособленной преимущественно для визуальных отсчетов. Систематические измерения объемного заряда проводились до сих пор редко, и общее число пунктов, для которых имеются такие данные, вероятно, не превышает 10 на всем земном шаре.

5) Проведение эпизодических измерений с помощью счетчика с динамическим электрометром и самописцем для дополнительного подтверждения достоверности данных связи между колебаниями ионизации и метеорологических элементов.

6) Гигиеническая оценка влияния условий небольшого города на чистоту воздуха.

7) Установление типов погоды, соответствующих метеорологическим условиям Эстонской ССР, и характеристика ионизации воздуха при различных (в том числе и циклонических) типах погоды. Исследование с биометеорологической точки зрения влияния погоды и ионизации атмосферы на человека по данным заболеваемости и смертности в г. Тарту с 1960 по 1963 гг.

Исследования 1960—1963 гг. являются по сравнению с исследованиями 1951 г. расширением и углублением проблемы атмосферной ионизации.

При исследованиях 1960—1963 гг. спектр ионов был разделен по подвижности (k) ионов на следующие группы.

1. Легкие ионы (p_2) ¹	$k \geq 0,1$	см ² /сек·в
1.1. Молионы (p_1)	$k \geq 1,0$	„
1.2. Промежуточные ионы ($p_2 - p_1$)	$1,0 > k \geq 0,1$	„
2. Тяжелые ионы (N_2)	$0,1 > k \geq 0,00025$	„
2.1. Средние ионы (N_0)	$0,1 > k \geq 0,01$	„
2.2. Полутяжелые ионы ($N_1 - N_0$)	$0,01 > k \geq 0,001$	„
2.3. Ионы Ланжевена ($N_2 - N_1$)	$0,001 > k \geq 0,00025$	„
3. Ультратяжелые ионы	$k < 0,00025$	„

Для решения поставленных задач в 1960—1963 гг. проводились измерения концентрации ионов обоих знаков при следующих предельных подвижностях:

а) с конденсатором легких ионов: $k_0 = 2,5$ см²/сек·в; $k_0 = 1,0$ см²/сек·в (группа p_1 — молионы); $k_0 = 0,5$ см²/сек·в; $k_0 = 0,1$ см²/сек·в (группа p_2 — легкие ионы) и $k_0 = 0,05$ см²/сек·в;

б) с конденсатором тяжелых ионов (дополнительным конденсатором улавливались ионы, подвижность которых $k \geq 0,1$ см²/сек в), $0,1 > k \geq 0,01$ см²/сек в (группа N_0 — средние ионы); $0,1 > k \geq 0,001$ см²/сек в (группа N_1 — средние и полутяжелые ионы); $0,1 > k \geq 0,00025$ см²/сек в (группа N_2 — тяжелые ионы).

Каждый месяц измерения проводились в течение 28 дней, в том числе 20 дней 4 раза в сутки, 8 дней — по 8 раз в сутки², а в 1962 г. 4 дня в месяц с непрерывной регистрацией показаний самописцем. Легкие и тяжелые ионы регистрировались в поочередные дни. В течение каждого сеанса продолжительностью 56 минут производилось 10 единичных измерений по 3 минуты каждое (при большей предельной подвижности 6 минут). Показания электрометра автоматически фиксировались фоторегистратором.

Усреднение данных производилось по месяцам, годам и в отдельности по двум холодным полугодиям (XI 1960 — IV 1961 гг. и XI 1961 — IV 1962 гг.) и двум теплым полугодиям (V—X 1961 г. и V—X 1962 г.). Достоверность полученных результатов подтверждается хорошей согласованностью данных, относящихся к двум холодным (или, соответственно, двум теплым) полугодиям [Прюллер и соавторы 1963 а; 1966 а, б; Prüller, Reinet, 1966].

¹ Символы p_1 , p_2 , N_0 , N_1 , N_2 обозначают группу или концентрацию ионов, точнее — концентрацию элементарных зарядов (э.з.) в 1 см³ воздуха в единицах (э.з.) см⁻³ или короче см⁻³.

² По тартускому местному времени в 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19 и 22 часа.

3. Ионизация атмосферы в г. Тарту в 1960—1963 гг.

3.1. Метеорологическая характеристика рассматриваемого периода Метеорологические данные получены от: 1) Актиметрической лаборатории Ин-та физики и астрономии (ИФА) АН ЭССР (на расстоянии 3,5 км от главного здания ТГУ), 2) станции Гидрометеослужбы ЭССР г. Тарту (на расстоянии 8,5 км) и 3) метеорологического наблюдательного пункта при главном здании ТГУ По данным этих станций метеорологическая обстановка в районе города Тарту описывается станциями 1) или 2) достаточно полно и надежно. Кроме данных метеостанций, в работе использованы также синоптические карты Управления Гидрометеослужбы ЭССР

В течение большей части рассматриваемого периода не было значительных отклонений от климатологической нормы — многолетних средних за 1866—1935 гг или от средних за 1926—1935 гг. В виде исключения можно указать на следующие особенности: 1) теплую погоду зимой 1960/61 гг., когда средние температуры с января по март включительно были почти на 4°C выше средних за 1866—1935 гг.; 2) повышенное количество осадков в 1962 г (больше средних за 1866—1935 гг на 156 мм); 3) очень солнечную погоду в июне 1963 г (средняя суточная продолжительность солнечного сияния равнялась 12,3 часа и была на 4,8 часа больше десятилетней средней за 1926—1935 гг.)

3.2. Результаты измерений ионизации атмосферы счетчиком с автоматическим фоторегистратором или с динамическим электрометром. За десять лет произошли сравнительно небольшие изменения спектра атмосферных ионов (табл. 1) Концентрация молионов в 1961—1962 гг. возросла по сравнению с 1951 г. приблизительно на 20%, концентрация легких ионов почти не изменилась, а концентрация средних и полутяжелых, в особенности тяжелых ионов, заметно снизилась в 1961 г., почти на 20%. Это указывает на снижение концентрации ядер, в частности продуктов сгорания, загрязняющих атмосферу. Тенденция к росту концентрации молионов и легких ионов и к снижению концентрации тяжелых ионов заметна также при сравнении двух холодных и двух теплых полугодий 1960—1962 гг. При сопоставлении средних годовых величин эта тенденция из-за аномальных отклонений в переходные месяцы 1960—1962 гг. обнаруживается слабее.

Отрезки ломаных линий годового хода концентрации ионов обоих знаков для предельных подвижностей $k_0=2,5; 1,0; 0,5; 0,1; 0,05$ см²/сек · в идут почти параллельно (рис. 1), поэтому спектры распределения ионов по подвижностям оказываются достаточно стабильными. Максимумы концентраций молионов (n_1) и легких ионов (n_2) приходятся в годовом ходе на весенние и летние месяцы (май-июнь), т. е. на периоды интенсивного выхода радона

Средние концентрации легких и тяжелых ионов в 1951, 1961 и 1962 гг.

Период	Легкие ионы (см ⁻³)						Тяжелые ионы (см ⁻³)					
	$k \geq 1,0$ см ² /сек · в			$k \geq 0,1$ см ² /сек · в			$0,1 > k \geq 0,001$ см ² /сек · в			$0,1 > k \geq 0,00025$ см ² /сек · в		
	n_1^+	n_1^-	$\frac{n_1^+}{n_1^-}$	n_2^+	n_2^-	$\frac{n_2^+}{n_2^-}$	N_1^+	N_1^-	$\frac{N_1^+}{N_1^-}$	N_2^+	N_2^-	$\frac{N_2^+}{N_2^-}$
1951	230	210	1,10	540	460	1,17	2650	2570	1,03	5250	5140	1,02
1961	290	250	1,16	520	460	1,13	2390	2360	1,01	4190	4280	0,98
1962	300	260	1,15	560	500	1,12	2400	2300	1,04	4630	4410	1,05
XI. 60—IV. 61	250	220	1,14	450	390	1,15	2870	2760	1,04	5250	5170	1,02
XI. 61—IV. 62	260	240	1,08	520	460	1,13	2590	2580	1,00	4920	4780	1,03
V—X. 1961	310	270	1,15	550	500	1,10	2120	2080	1,02	3510	3660	0,96
V—X. 1962	360	300	1,20	620	540	1,15	1870	1760	1,06	3670	3460	1,06

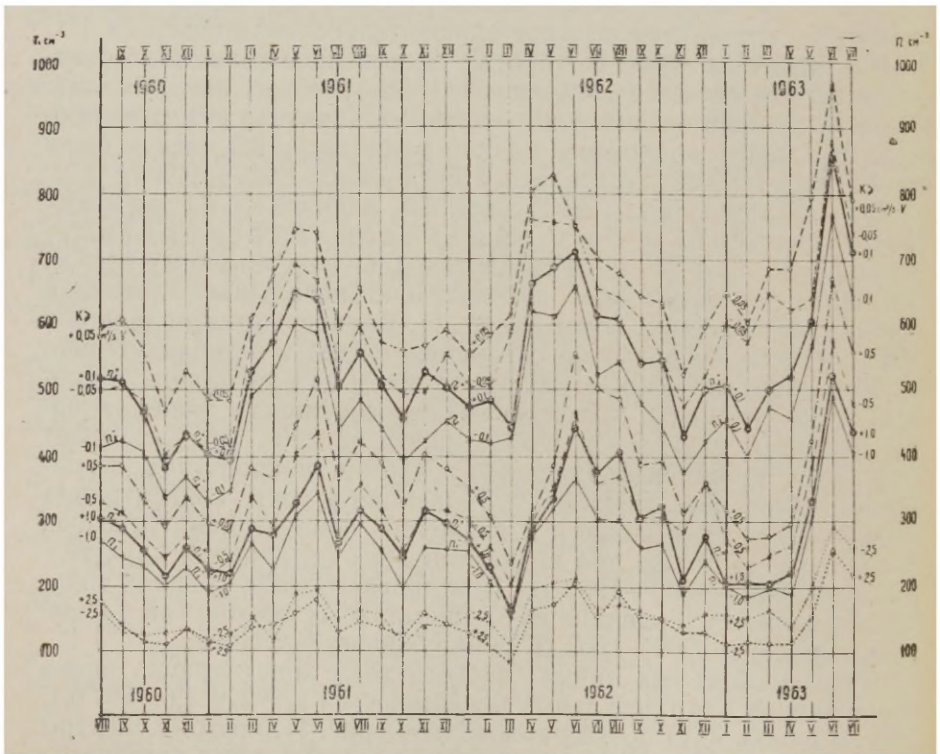


Рис. 1. Годовой ход среднемесячных концентраций ионов, измеренных конденсатором легких ионов при предельных подвижностях $k_0=2,5; 1,0$ (n_1 — молионы); 0,5; 0,1 (n_2 — легкие ионы) и 0,05 см²/сек · в за период VIII 1960—VII 1963 г. Рисунок получен на основе 27 731 измерения.

из почвы. Наибольшая концентрация легких ионов за весь период измерений ($n_2^+ = 860 \text{ см}^{-3}$) отмечена в самом солнечном месяце — июне 1963 г. Годовые минимумы наблюдаются в зимние месяцы: январь-февраль 1961 г., март 1962 г., февраль 1963 г.,

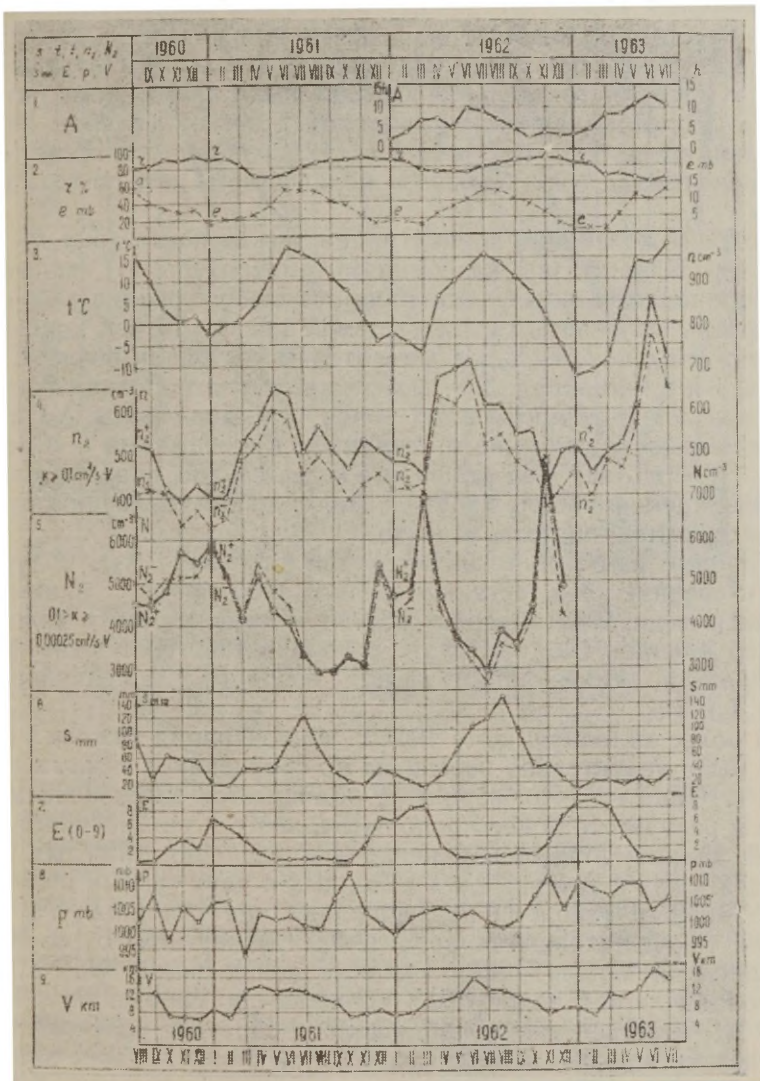


Рис. 2. Ход легких ионов (n_2), тяжелых ионов (N_2) и метеорологических среднемесячных элементов (измерения в 1, 7, 13 и 19 часов); продолжительность солнечного сияния в часах (A), относительная влажность (r), упругость водяного пара (e), температура (t), осадки ($S_{\text{мм}}$), показатель состояния почвы (E), атмосферное давление (p) и видимость (V) за период VIII 1960 — VII 1963 г.

когда почва была мерзлая и снежный покров имел большую толщину, что препятствует выходу радона. Одним из главных факторов, вызывающих понижение концентрации легких ионов, является также рост концентрации аэрозолей (ядер) и вместе с тем тяжелых ионов. Вторичные минимумы концентрации ионов групп p_1 и p_2 обусловлены различными причинами, например, намоканием почвы при обильных осадках (июль 1961 г.), повышением атмосферного давления (обилие пыли при сухости, октябрь 1961 г.), преобладанием юго-восточных ветров (ноябрь 1962 г., 39% при средних за 1871—1915 гг. 12%), приносящих воздух из районов города с наибольшим количеством источников дыма, и т. д.

Годовые колебания концентрации легких ионов (рис. 2) в общих чертах синфазны колебаниям температуры (t), видимости (V), продолжительности суточного солнечного сияния (A) и противофазны колебаниям относительной влажности (r), концентрации тяжелых ионов (N_2) и показателям состояния почвы E (0 — сухая, 1 и 2 — мокрая, 3 — замерзшая и т. д.) Совпадение максимумов концентрации легких ионов (p_2), видимости (V) и продолжительности солнечного сияния (A) в июне как за весь период 1961—1963 гг., так и за отдельные годы, служит дополнительным подтверждением возможности использования величины p_2 для характеристики чистоты воздуха.

Годовые изменения концентрации тяжелых (N_2), полутяжелых и средних (N_1), а также средних (N_0) ионов с минимумом летом (август 1961 г., июль 1962 г.) и максимумом в холодный период (январь 1961 г., март и ноябрь 1962 г.) противофазны изменениям концентрации легких ионов (p_2) и молионов (p_1) (рис. 1 и 3)

В более холодную зиму 1951 г. концентрация тяжелых ионов (N_2) была значительно повышена по сравнению с зимами 1961 и 1962 гг. (рис. 4), что, вероятно, объясняется загрязнением воздуха в результате более продолжительного и интенсивного отопления зданий. Малые изменения концентрации тяжелых ионов из года в год в течение двух холодных и двух теплых полугодий 1960—1962 гг (табл. 1) подтверждают как стабильность ионизации, так и надежность проведенных измерений. В результате повышенной концентрации тяжелых ионов зимой 1951 г., концентрация легких ионов была понижена по сравнению с 1960—1963 гг.; в летнее время наблюдалось обратное соотношение — вследствие меньшей влажности воздуха более высокие значения p_2 отмечены в 1951 г

Зимой 1951, 1961 и 1962 гг при равных среднемесячных температурах среднемесячные концентрации тяжелых ионов также равны. Этот факт и другие (гл. 3.4) например незначительное изменение коэффициентов корреляции за 10 лет (1951 и 1961, 1962 гг) и малые значения коэффициента альтернативности

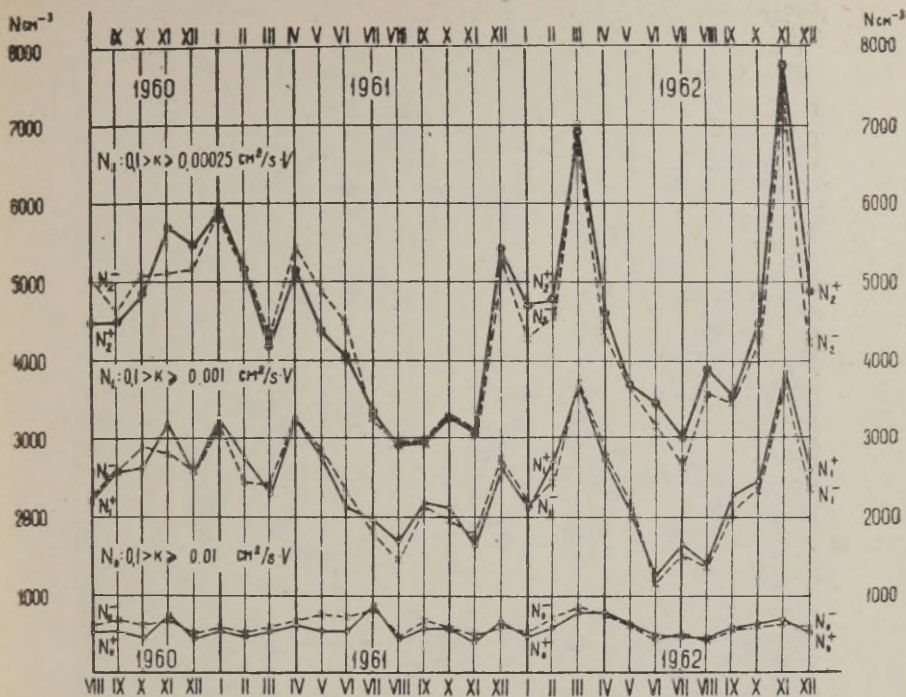


Рис. 3. Годовой ход среднемесячных концентраций ионов, измеренных с помощью конденсатора тяжелых ионов в интервале подвижностей $0,1 < k \leq 0,00025 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{В}$ (N_2 — средние ионы), $0,1 < k \leq 0,001 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{В}$ (N_1 — полутяжелые и средние ионы) и $0,1 < k \leq 0,01 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{В}$ (N_0 — средние ионы) за период VIII 1960—XII 1962. Рисунок получен на основании 11 085 измерений.

А для ионов группы N (табл. 5), указывают на отсутствие вековых изменений.

В суточном ходе концентраций легких ионов (n_2) и молионов (n_1) по данным за 1960—1962 гг. (рис. 5) главный максимум наблюдается обычно ночью около 1 часа¹, а главный минимум — утром в 7 часов; побочный максимум приходится на 13 часов, а побочный минимум — на 19 часов. В течение теплого полугодия полуденный побочный максимум выражен более резко и становится иногда даже основным. Суточный ход концентраций тяжелых ионов (N_2) и полутяжелых и средних ионов (N_1) в целом противоположен суточному ходу концентраций легких ионов (n_2) и молионов (n_1). Главный минимум (групп N_1 и N_2) как в теплое, так и в холодное время года приходится на послеполуденные часы (1—4), а главный максимум, особенно высокий в период отопительного сезона, на 7 часов. Имеется также побоч-

¹ По тартускому местному времени.

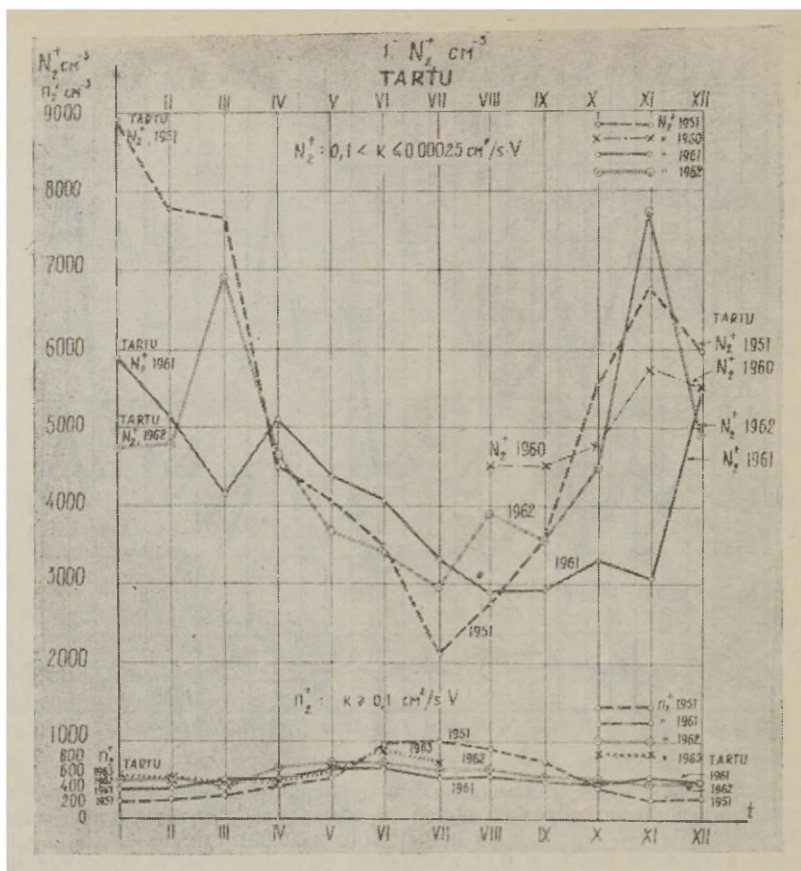
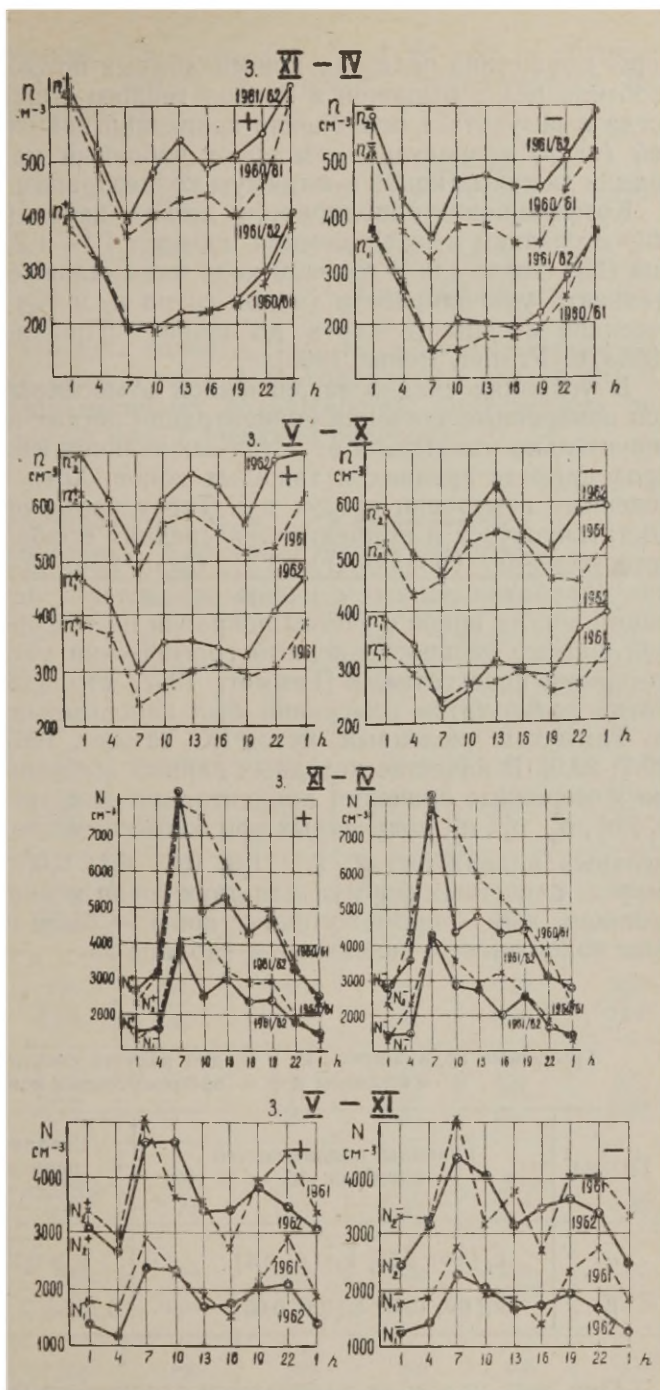


Рис. 4. Ход концентраций положительных тяжелых ионов (N_2) и легких ионов (n_2) в 1951 г. и за период VIII 1960—VII 1963 г.

ный минимум в 13 часов (зимой в 16 часов) и побочный максимум около 19 часов.

Так как по материалам наблюдений 1960—1962 гг. в 1 час ночи средняя концентрация тяжелых ионов почти одинакова для теплого и холодного полугодий, можно считать, что эта величина характеризует естественный уровень ионизации воздуха. Главный утренний минимум концентрации легких ионов и максимум концентрации тяжелых ионов совпадают по времени с началом токов печей, работы фабрик и появлением движения в городе. В это время метеорологические условия, вследствие развития предутренней инверсии, способствуют накоплению ядер в приземном слое воздуха. Побочный дневной максимум n_2 и минимум N_2 обусловлены выносом ядер в более высокие слои атмос-



феры вследствие развития конвекционных потоков; этот эффект особенно резко выражен в период теплого полугодия. Вечером, когда в результате ослабления конвекции концентрация аэрозолей (ядер) возрастает, возникают побочный максимум концентраций тяжелых ионов и минимум концентрации легких ионов.

Коэффициент униполярности легких ионов (n_2) и молионов (n_1) в среднем имеет значения порядка 1,1—1,2, а тяжелых ионов (N_2) около 1,0. В годовом ходе минимальные значения коэффициента униполярности (ионов групп n_2 и N_2) наблюдались в весенние месяцы (с марта до июня) [Прюллер и соавторы, 1966а, б; Prüller, Reinet 1966].

В условиях сильно загрязненной атмосферы больших городов измеренные значения концентрации легких ионов (n_2) могут значительно отличаться от истинных величин из-за влияния тока проводимости средних и тяжелых ионов. Хотя по данным проведенных измерений воздух в г. Тарту большую часть времени достаточно чист и концентрация средних ионов близка летом к естественному уровню (гл. 3.3), была проведена дополнительная обработка данных с целью определения истинной концентрации легких ионов с учетом поправки на ток проводимости. Так как широко распространенный графический метод обладает некоторыми недостатками [Таммет, 1967, стр. 146], то для обработки результатов измерений был использован разработанный Х. Тамметом численный метод [Х. Таммет, 1967. формулы 4.3; 29.7; 29.9]. В качестве исходных данных выбраны непосредственно измеренные значения концентрации для пяти групп ионов n_1^* , n_2^* , n_3^* , n_4^* , n_5^* , полученных при соответственно следующих предельных подвижностях: 2,5; 1,0; 0,5; 0,1; 0,05 см²/сек·в. При выводе расчетных формул для двух групп ионного спектра: α — молионы и β — промежуточные ионы — были выбраны граничные подвижности, указанные в таблице 2.

Таблица 2

Граничные подвижности \bar{k}_1 и \bar{k}_2 для расчета спектральных групп α — молионы и β — промежуточные ионы

Группа	Границы подвижностей (см ² /сек в)	Средние границы (см ² /сек·в)	Примерно соответствует группе
α	$\bar{k}_1 [\infty; 2,5]; \bar{k}_2 [1,0; 0,5]$	$k \geq 0,75$	n_1
β	$\bar{k}_1 [1,0; 0,5]; \bar{k}_2 [0,1; 0,05]$	$0,75 > k \geq 0,075$	$n_2 - n_1$

При этих условиях получают следующие формулы для расчета концентраций ионов α — группы (молионы) n_α (см⁻³), β —

группы (промежуточные ионы) n_{β} (см^{-3}) и $(\alpha + \beta)$ — группы (легкие ионы) $n_{\alpha + \beta}$ (см^{-3}) и средних подвижностей k_{α} ($\text{см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$) и k_{β} ($\text{см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$)

$$n_{\alpha} = 2n_2^* - n_3^* \quad (1)$$

$$n_{\beta} = 2(n_4^- - n_2^*) + n_3^* - n_5^* \quad (2)$$

$$n_{\alpha + \beta} = n_{\alpha} + n_{\beta} \quad (2a)$$

$$k_{\alpha} = \frac{2,5n_1^* + n_2^* - n_3}{2n_2^* - n_3^*} \quad (3)$$

$$k_{\beta} = \frac{n_3^* - n_2^* - 0,1(n_5 - n_4^-)}{2(n_4^- - n_2^*) + n_3^* - n_5^*} \quad (4)$$

Средние концентрации ионов n_{α} , n_{β} , $n_{\alpha + \beta}$, вычисленные по формулам 1, 2 и 2a, даны в табл. 3, их годовой ход дан на рис. 6 и годовой ход среднемесячных подвижностей, вычисленных по формулам 3 и 4, дан на рис. 7 (верхний рисунок)

Таблица 3

Концентрации ионов n_{α} , n_{β} , $n_{\alpha + \beta}$ и их отношения к концентрации ионов n_1 , n_2 , $n_2 - n_1$ по годам и полугодиям

Годы	Концентрации (см^{-3}) и отношения					
	n_{α}^+	n_{α}^-	n_{β}^+	n_{β}^-	$n_{\alpha}^+ + n_{\beta}^+$	$n_{\alpha}^- + n_{\beta}^-$
	$\frac{n_{\alpha}^+}{n_1^+}$	$\frac{n_{\alpha}^-}{n_1^-}$	$\frac{n_{\beta}^+}{n_2^+ - n_1^+}$	$\frac{n_{\beta}^-}{n_2^- - n_1^-}$	$\frac{n_{\alpha}^+ + n_{\beta}^+}{n_2^+}$	$\frac{n_{\alpha}^- + n_{\beta}^-}{n_2^-}$
1961	$\frac{190}{0,66}$	$\frac{190}{0,76}$	$\frac{240}{1,04}$	$\frac{180}{0,86}$	$\frac{430}{0,83}$	$\frac{370}{0,80}$
1962	$\frac{220}{0,73}$	$\frac{200}{0,77}$	$\frac{240}{0,92}$	$\frac{180}{0,75}$	$\frac{460}{0,82}$	$\frac{380}{0,76}$
1960/61 хол. п/г	$\frac{170}{0,68}$	$\frac{180}{0,82}$	$\frac{190}{0,95}$	$\frac{140}{0,82}$	$\frac{360}{0,80}$	$\frac{320}{0,82}$
1961/62 хол. п/г	$\frac{180}{0,69}$	$\frac{190}{0,79}$	$\frac{240}{0,92}$	$\frac{180}{0,82}$	$\frac{420}{0,81}$	$\frac{370}{0,80}$
1961 тепл. п/г	$\frac{200}{0,65}$	$\frac{200}{0,74}$	$\frac{250}{1,04}$	$\frac{200}{0,87}$	$\frac{450}{0,82}$	$\frac{400}{0,80}$
1962 тепл. п/г	$\frac{280}{0,78}$	$\frac{240}{0,80}$	$\frac{260}{1,00}$	$\frac{190}{0,79}$	$\frac{540}{0,87}$	$\frac{430}{0,80}$
Среднее за 1961—1962	$\frac{205}{0,70}$	$\frac{195}{0,76}$	$\frac{240}{0,98}$	$\frac{180}{0,80}$	$\frac{445}{0,82}$	$\frac{375}{0,78}$

Годовой ход концентрации молионов n_{α}^{+} , n_{α}^{-} и легких ионов $n_{\alpha+\beta}^{+}$, $n_{\alpha+\beta}^{-}$ почти точно соответствует ходу непосредственно измеренной концентрации молионов (n_1) и легких ионов (n_2). Ко-

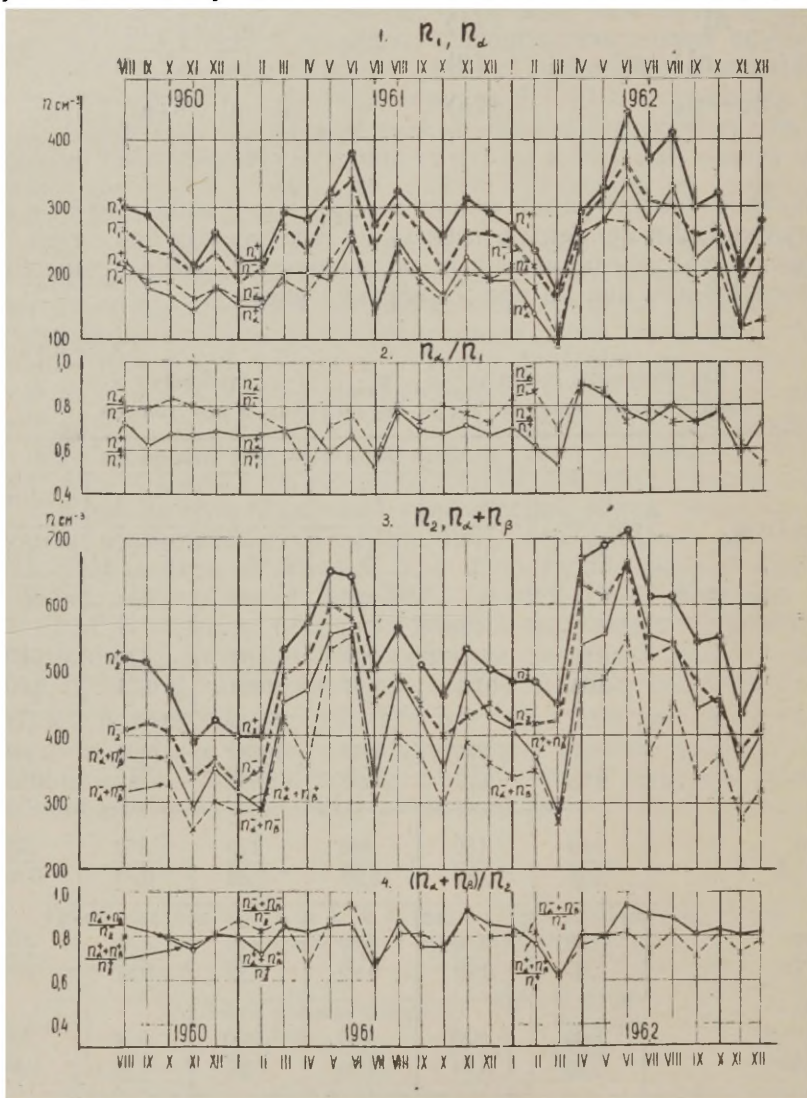


Рис. 6. Годовой ход с VIII 1960 по XII 1962 г. среднemesячных концентраций молионов n_1 и относящиеся к их спектральной α группе концентрации n_{α} , легких ионов n_2 и относящиеся к их спектральной $\alpha+\beta$ группе концентрации $n_{\alpha+\beta}$ и их от-

ношения $\frac{n_{\alpha}^{+}}{n_1^{+}}$, $\frac{n_{\alpha}^{-}}{n_1^{-}}$, $\frac{n_{\alpha}^{+}+n_{\alpha+\beta}^{+}}{n_2^{+}}$ и $\frac{n_{\alpha}^{-}+n_{\alpha+\beta}^{-}}{n_2^{-}}$.

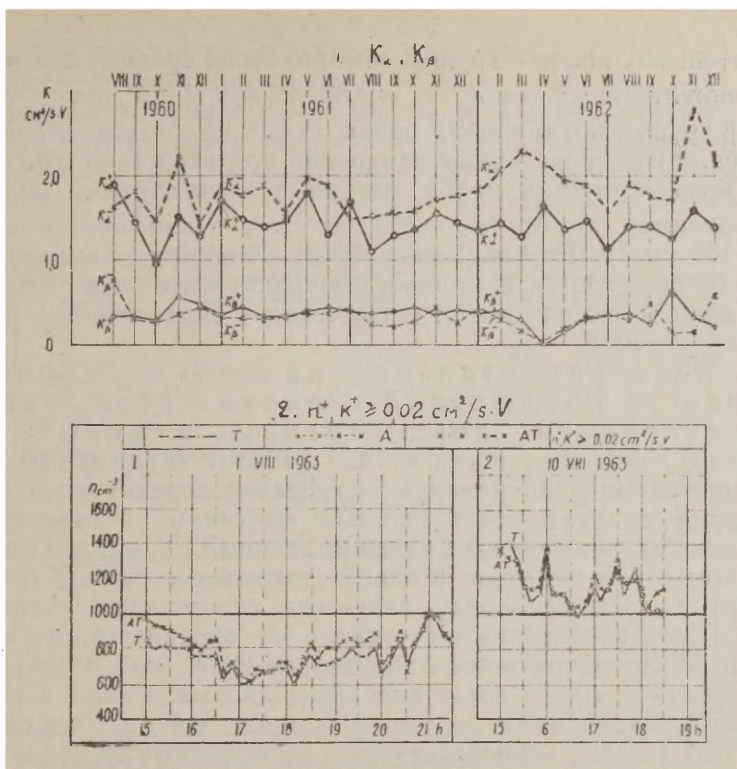


Рис. 7. Верхний рисунок. Годовой ход с VIII 1960 по XII 1962 г. среднемесячных подвижностей спектральной группы α — молионов k_{α}^+ , k_{α}^- и группы β — промежуточных ионов k_{β}^+ и k_{β}^- .

Нижний рисунок. Десятиминутные средние концентрации положительных средних ионов ($k \geq 0.02 \text{ cm}^2/\text{сек} \cdot \text{v}$), измеренные двумя счетчиками с самописцами в главном здании ТГУ. Кривая Т — измерения стационарным и АТ — измерения портативным счетчиком (расстояния между входными отверстиями счетчиков $d=20 \text{ см}$).

личественные расхождения между первоначальными и исправленными величинами сравнительно малы: истинные среднегодовые концентрации молионов n_{α} на 20—30% ниже концентрации n_1 , концентрации промежуточных ионов n_{β} уменьшаются в среднем до 15% по сравнению с измеренной концентрацией промежуточных ионов $n_2 - n_1$, истинная концентрация легких ионов $n_{\alpha+\beta}$ меньше n_2 на 20% (рис. 6, табл. 3). Поправки такого порядка можно считать типичными в случае измерения ионизации аспирационными счетчиками в небольших городах, где естественный уровень не нарушен. По данным 1961 и 1962 гг. среднегодовые подвижности

отрицательных ионов α -группы заметно выше средней подвижности положительных ионов: $k_{\alpha}^{-} = 1,87$; $k_{\alpha}^{+} = 1,41$ см²/сек·в, а для ионов β -группы подвижности равны ($k_{\beta}^{-} = k_{\beta}^{+} = 0,35$ см²/сек в).

Результаты проведенных измерений подтверждают существование промежуточных ионов, истинные концентрации которых увеличиваются летом ($n_{\beta} \approx 300$ см⁻³) и уменьшаются зимой ($n_{\beta} \approx 180$ см⁻³) [Prüller, Reinet, 1966]. Имеются указания, что эти ионы образуются в особенно большом количестве в теплое время года и что они имеют существенное биологическое значение [Рейнет, 1958].

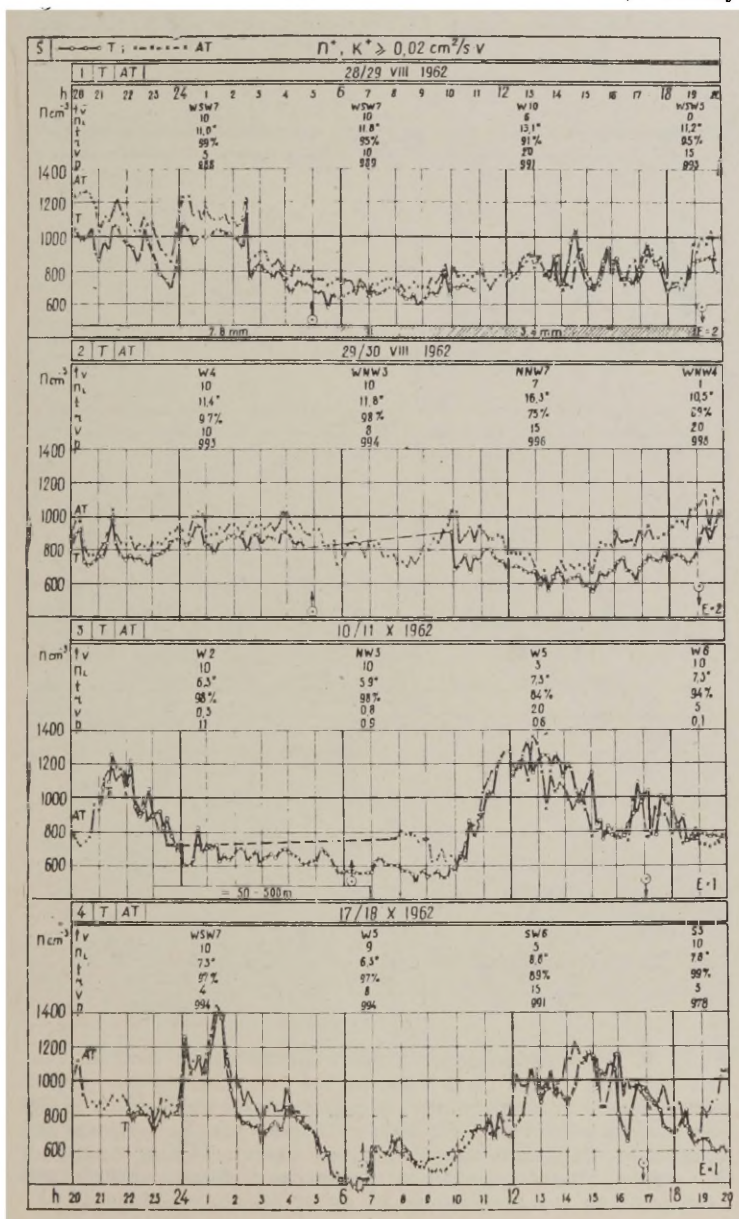
3.3. Экспериментальная проверка репрезентативности наблюдений и оценка возмущенности колебаний концентрации атмосферных ионов. В конце лета и осенью 1962 и 1963 гг. в течение 16 суток были проведены одновременные измерения концентрации положительных средних ионов ($k_0 = 0,02$ см²/сек в) стационарным счетчиком, установленным в главном здании ТГУ, и портативным счетчиком в том же месте в одном воздушном канале (рис. 7, нижний; расстояние между входными отверстиями счетчиков 20 см), либо портативным счетчиком на окраине города в павильоне Актинометрической лаборатории ИФА (рис. 8—11). Оба портативных счетчика были снабжены динамическими электрометрами и самописцами, на лентах которых, двигавшихся со скоростью 60 мм/час, непосредственно регистрировалась концентрация ионов [в единицах (э.з.)·см⁻³]. С полученных кривых снимались усредненные за 10 минут концентрации ионов n . Возмущенность нормального хода характеризовалась по Израэлю [Israel, 1961] относительной амплитудой колебаний за часовой промежуток

$$n_a = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{n_{\text{ср. суточн}}} 100\%$$

и квазичастотой f , равной числу точек поворота (локальных экстремумов) усредненной кривой за 1 час.

Рис. 8. Десятиминутные средние концентрации положительных средних ионов ($k \geq 0,02$ см²/сек·в), измеренные двумя счетчиками с динамическими электрометрами 28/29 VIII, 29/30 VIII, 10/11 X и 17/18 X 1962 г. в главном здании ТГУ. Обозначения кривых Т и АТ даны в тексте к рис. 7. Метеорологические данные в 1, 7, 13 и 19 часов (по местному времени) даны в порядке (сверху вниз): v — направление и скорость ветра (м/сек); n_L — нижняя облачность (0—10 баллов); t — температура (°C); g — относительная влажность (%); V — видимость (км); p — атмосферное давление (мб); ☉ — моменты восхода и захода солнца; ☂ — осадки (мм); S_c — интенсивность прямой солнечной радиации за час на перпендикулярную площадь (кал/см²·час); ☁ — туман; E — состояние почвы (0 — сухая, 1, 2 — мокрая, 3 и больше — замерзшая и т. д.).

Кривые, полученные в главном здании ТГУ в одном воздушном канале с помощью двух различных приборов, оказались идентичными по среднему уровню, частоте и амплитуде колебаний. При резком уменьшении облачности и увеличении видимости (и наоборот) обе кривые синхронно повышаются и понижаются (рис. 8, 10/11 X и 17/18 X 1962 г. на 600 см^{-3}). Следует по-



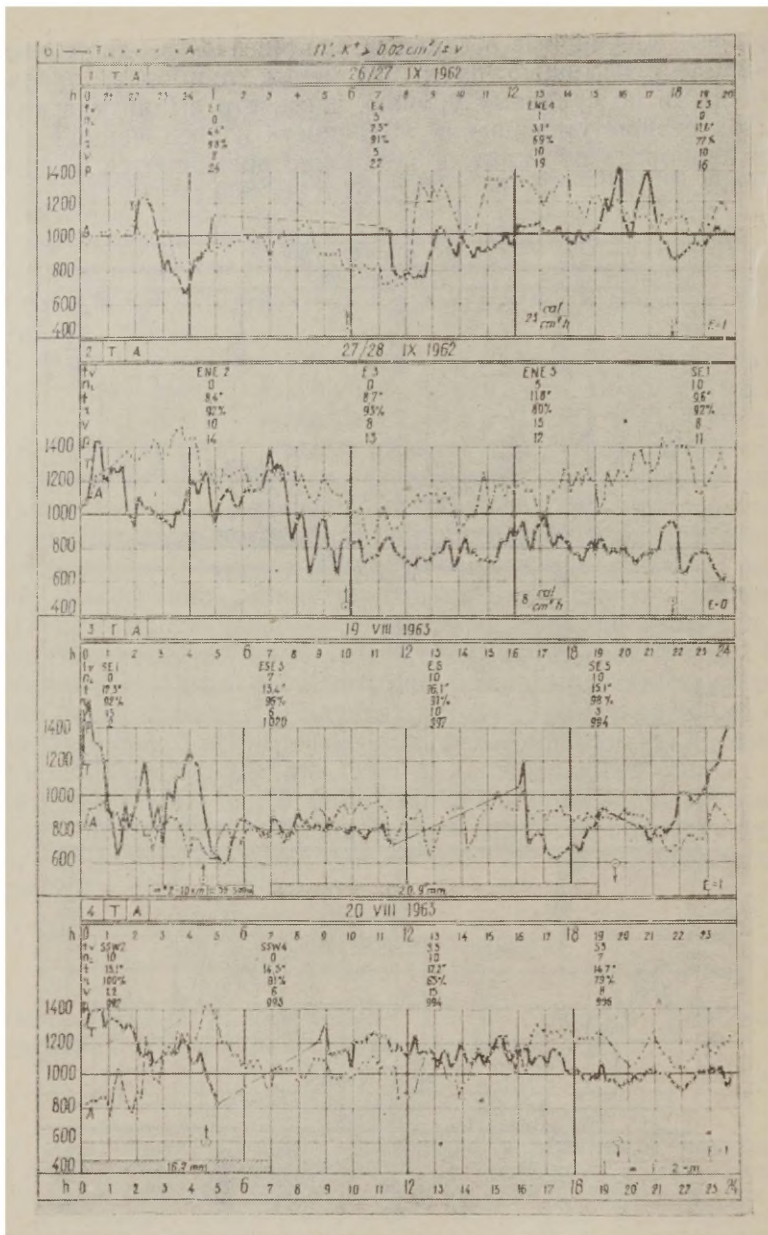


Рис. 9. Десятиминутные средние концентрации положительных средних ионов ($k \geq 0,02 \text{ см}^3/\text{сек} \cdot \text{в}$), измеренные двумя счетчиками с динамическими электрометрами 26/27 IX и 27/28 IX 1962 г. и 19 и 20 VIII 1963 г. Кривая Т — измерения стационарным счетчиком в главном здании ТГУ и кривая А — измерения портативным счетчиком в Актинометрической лаборатории (на расстоянии 3,5 км от главного здания ТГУ).

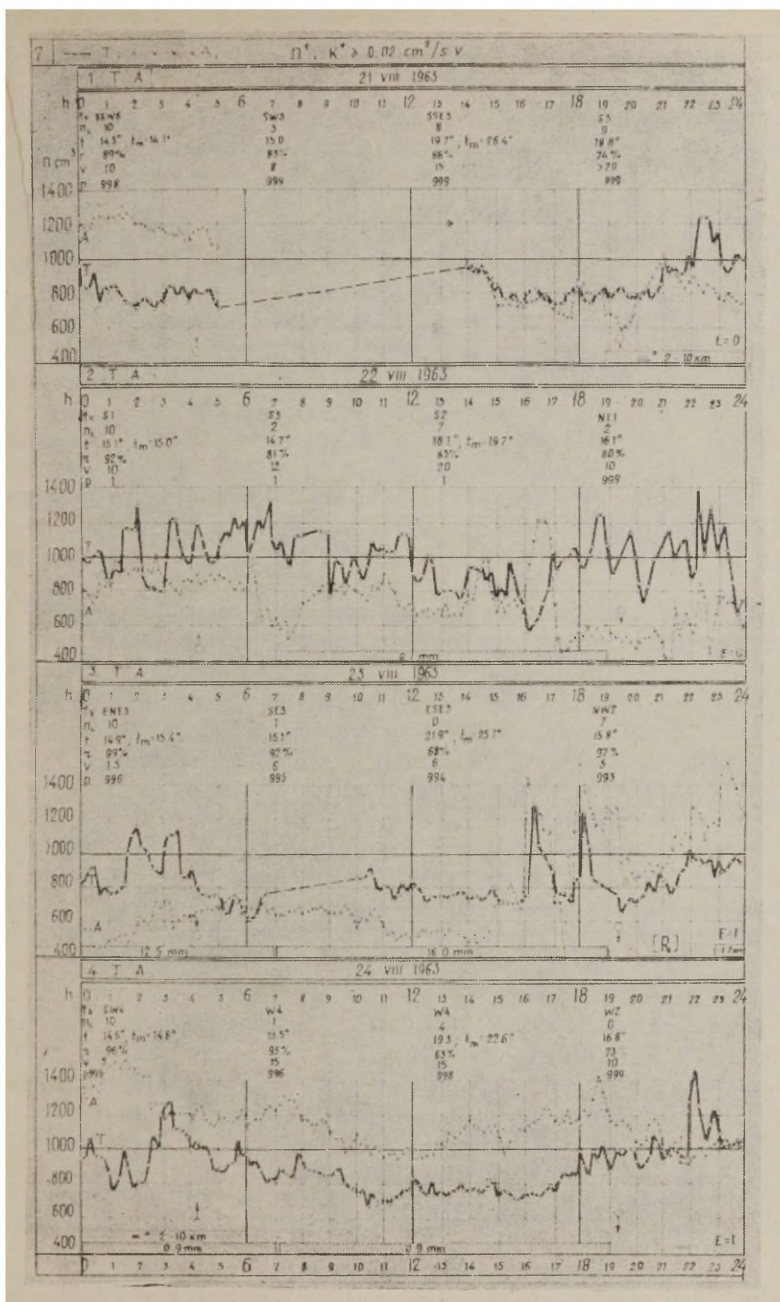


Рис. 10. Десятиминутные средние концентрации положительных средних ионов ($\kappa \geq 0,02 \text{ cm}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$), измеренные двумя счетчиками с динамическими электрометрами 21, 22, 23 и 24 VIII 1963 г. Обозначения T и A даны в тексте к рис. 9.

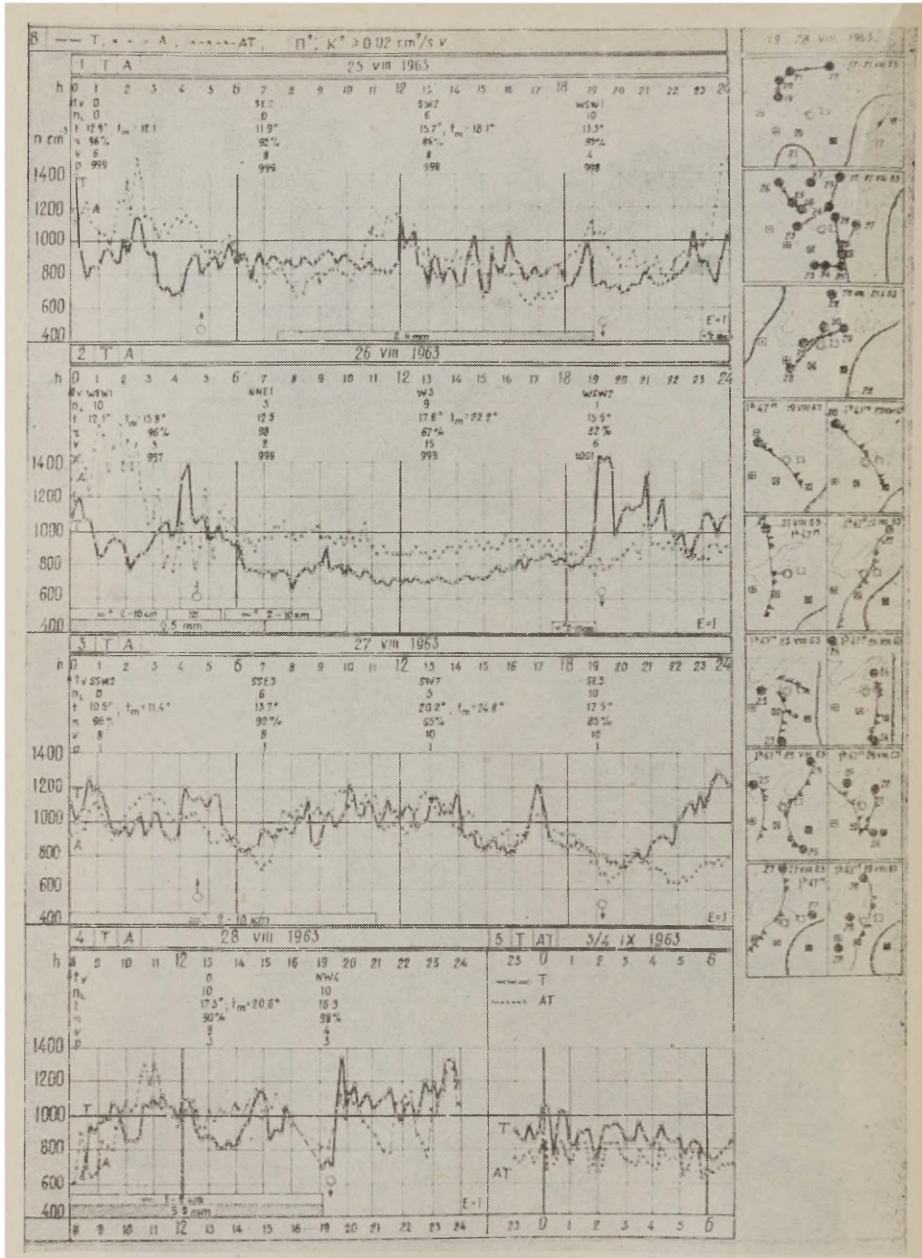


Рис. 11. Десятиминутные средние концентрации положительных средних ионов ($k \geq 0,02 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$), измеренные двумя счетчиками с динамическими электрометрами 25, 26, 27 и 28 VIII 1963 г. Обозначения кривых Т, А и АТ даны в тексте к рис. 7 и 9. Направо 19—28 VIII 1963 г. карта холодного (острые зубцы), теплового (круглые зубцы) фронта и фронта окклюзии (оба зубца) вокруг Тарту (два концентр. круга) в 1 час. 47 мин. местного или в 3 часа Московского времени.

лагать, что в нижних слоях атмосферы ионы распределены неравномерно, т. е. концентрации ионов в равных микрообъемах воздуха не равны. Микрообъемы воздуха с относительно высокими концентрациями ионов распределены более или менее равномерно в среде с меньшей концентрацией ионов [Sheppard, 1932].

Одновременные измерения двумя счетчиками, установленными в главном здании ТГУ и на окраине города, на расстоянии 3,5 км в павильоне Актинометрической лаборатории ИФА, проводились в течение 10 дней с 19 по 28 августа 1963 г. (рис. 9—11) В среднем за все десять суток в обоих пунктах получились одинаковые значения $n=950 \text{ см}^{-3}$, причем в течение 7 дней были достаточно близки и средние значения по отдельным суткам (разница не превышала 110 см^{-3}). Очевидно, при достаточно большом усреднении влияние локальных неоднородностей практически полностью компенсируется. Летом параметры ионизации и чистоты воздуха у главного здания ТГУ (вблизи парка Тоомеяги) и за городом среди полей примерно совпадают.

При одновременных измерениях ионизации в главном здании ТГУ и в загородной Актинометрической лаборатории наблюдались очень сходные колебания (с относительными амплитудами $n_a=0,1-0,5$ и квазичастотами $2-4 \text{ час}^{-1}$) при прохождении фронтов, вызывающих резкое изменение облачности (рис. 9 до 11) [Prüller, Reinet, 1966]. В отдельных случаях наблюдались синхронные колебания с очень большой амплитудой, например 23 VIII 1963 г. (рис. 10) при прохождении холодного фронта с развитой грозовой облачностью. Эти резкие колебания ионизации вызваны в первую очередь большими изменениями напряженности электрического поля. Примерно одинаковые колебания отмечались также в двух пунктах за целые сутки, включая время прохождения теплого фронта и фронта окклюзии 25 и 27 VIII 1963 г (рис. 11). Сходство кривых обусловлено тем, что в это время общие факторы (облачность, фронты и т. д.) сильнее влияют на ионизацию атмосферы, чем локальные возмущения. Однако локальные возмущения как в городе, так и за городом нередко приводят к расхождениям по амплитуде, частоте и среднему уровню колебаний (рис. 10, 24 VIII и рис. 11, 26 VIII 1963). Действие облачности проявляется как за счет собственных электрических полей облаков, так и в результате изменения напряженности электрического поля Земли [Прюллер и соавторы, 1966 б; Prüller, Reinet, 1966].

Колебания концентрации ионов, связанные с турбулентным перемешиванием [Таммет, 1967], имеют минимум ночью. По Х. Израэлю [Israel, 1958 а, б, 1959, 1961] возмущения в ходе атмосферно-электрических элементов ночью слабее, чем днем. При усреднении данных наших измерений по всем дням полу-

чился обратный суточный ход возмущенности с максимумом ночью и минимумом днем. Этот результат не противоречит выводам Израэля, относящимся к дням без осадков и фронтов.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что результаты измерений в главном здании ТГУ в среднем вполне репрезентативны и характеризуют естественный уровень ионизации и ее регулярные колебания в течение теплого полугодия. В холодное время года загрязнения от работы отопительных систем значительно нарушают естественные условия. Зимой естественные условия в городе характеризуются приближенно данными измерений в 1 час ночи.

3.4. Зависимость концентрации ионов от метеорологических элементов. Для исследования зависимости концентрации ионов от метеорологических элементов применялся в основном аналитический метод расчета коэффициентов корреляции r (на электронно-вычислительной машине «Урал-4») и частично прием графического сопоставления кривых (рис. 14 до 17) В таблице 4 даны средние арифметические значения коэффициентов корреляции r для ионов обоих знаков (при $r > r_0$, где $r_0 = 0,11$ порог достоверности), вычисленные отдельно для двух теплых и двух холодных полугодий. Коэффициенты линейной корреляции получались всегда меньше неиспользуемых здесь коэффициентов нелинейной корреляции (в отдельных случаях в несколько раз). Кроме того, коэффициенты корреляции, связывающие концентрацию ионов с метеорологическими элементами, значительно ниже коэффициентов корреляции как между отдельными метеорологическими элементами (например, температурой и абсолютной влажностью, $r = 0,67 \div -0,71$), так и между концентрацией ионов отдельных групп (например, положительными и отрицательными легкими ионами, $r = 0,74 \div 0,82$). Корреляционный анализ часто применяется в геофизике [Брукс-Каризерс, 1963; Mc. Donald, 1960], несмотря на малые коэффициенты корреляции порядка 0,15 до 0,3 [Davis, 1960].

После усреднения данных о концентрации ионов обоих знаков по двум холодным и двум теплым полугодиям в настоящей работе были получены значения 88 коэффициентов корреляции, (рис. 12), из которых 45 равны или выше порога достоверности $r_0 = 0,11$ (табл. 4). Порог $r_0 = 0,11$ вычислен для групп из $n = 300$ измерений концентрации ионов (каждый из 24 малых рисунков на рис. 14 до 17) при вероятности $p = 0,05$ нульгипотезы Стью-

Рис. 12. При увеличении (\uparrow) метеорологического элемента ($t, p, v, e, g, p_L, V, s_{mm}, \equiv, S$ и E) концентрация группы ионов (n_1, n_2, N_1 и N_2) либо увеличивается (\uparrow), либо уменьшается (\downarrow). Числа над или под стрелками — коэффициенты корреляции r холодного или теплого полугодия.

МЕСТО ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛИЗАЦИОННОГО ВОЗДУХА	ТАРТУ ЭССР		СВЯТО-ЛЕНИНСКОЕ ЗЕЛ.	ЧЕРНО-ВЫЛЫ УССР ССР	А.А.МНИК	П.Н.ТБЕРСКОЙ	ИЗРАЕЛ	PARIS FRANCE	SHIMBOMIENBERG	UPPASA, A SVENRIGE	WASHINGTON 1911 1960 - V 1961	
АВТОР	Я.РЕЙНЕТ	П.ПРОЦЛЕР	М.М.ГЕРАСИМОВА	О.А.СОМЦЕВ-СКИЯ	А.А.МНИК	П.Н.ТБЕРСКОЙ	ИЗРАЕЛ	PARIS FRANCE	SHIMBOMIENBERG	UPPASA, A SVENRIGE	WASHINGTON 1911 1960 - V 1961	
ГДЕ ОПУБЛИКОВАНО МЕСТО И ВРЕМЯ	АВТОРЕФЕРАТ КАНДИДАТСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ ТАРТУ, 1958 Х МАДОНН 54 ЗАП. ТАРТУСКОГО ГОС УН 1958 58, 103-144	В СБ. "АЭРОФИЗИКА И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАБОТЫ РАДИОТЕХНИКИ И ИСТОРИИ ФИЗИКИ В ЭССР ТАРТУ, 1967 ЭИИТ ЭВЮМЕ-ТЕОЛОЛОЭТ 1966 VOL.10 №2, pp.27-45	ТРИНАЧЧИ ИССЛ. УПРЕЖДАЮЩЕГО РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ССРС ЛЕНИНСКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА ТАРТУ, 1960	СБ.МЕТРИЧЕСКОГО ЧЕРНОВИКА КОЭФ. УЧЕБНИКА ИМЕТ.1958 ВЫП.10 СТР.309-316	КОММУНИКАЦИОННАЯ ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА МОСКВА, 1963	ИОНКЗА ДИЯ ВОЗДУХА И ЧЕЛОВЕКА ЛЕНИНГРАД, 1963	АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ЛЕНИНГРАД, 1962	ATMOSPHARISCHE ELEKTROELEKTROSTAT. ZITAT LEIPZIG 1957	ANNALES DE L'INSTITUTE DE PHYSIQUE DE GLOBE DE PARIS TSUO BAND 1 NO.1, 9-32 BAND 2 NO.1 1950 BAND 4 NO.7 1950-1951	ANNALS OF GEOPHYSICAL OBSERVATION AIR PHILADELPHIA 1961 VOL.1 SECT.4-11	PARIS INT. CONFERENCE ON INTERNATIONAL AIR PHILADELPHIA 1961 VOL.1 SECT.4-11	PARIS INT. CONFERENCE ON INTERNATIONAL AIR PHILADELPHIA 1961 VOL.1 SECT.4-11
ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ	1951-1958	1960-1962	1955-1958	1958-1959	1-11	1-11	1-11	1959-1960	1960-1961	1960-1961	WASHINGTON 1911 1960 - V 1961	
КОЭФФИЦИЕНТ	0.38-0.44	0.16, 0.12	0.13, 0.06	0.01, 0.08								
ТЕМПЕРАТУРА	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.37-0.45	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.19-0.23	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.19-0.28	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.07-0.17	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.05-0.11	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.05-0.07	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.05-0.07	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.05-0.07	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.05-0.07	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.05-0.07	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.05-0.07	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.05-0.07
ВЕТЕР	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.18-0.23	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.18-0.23	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.18-0.23	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.18-0.23	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.18-0.23	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.18-0.23	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.18-0.23	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.18-0.23	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.18-0.23	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.18-0.23	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.18-0.23	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.18-0.23
СКОРОСТЬ ВЕТРА	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.19, 0.28	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.15, 0.22	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10, 0.12	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.17, 0.18	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10-0.15	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10-0.15	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10-0.15	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10-0.15	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10-0.15	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10-0.15	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10-0.15	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10-0.15
ДАВЛЕНИЕ ВОЗДУХА	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.20, 0.10	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.15, 0.11	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.01, 0.05	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.02, 0.02	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.14, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.14, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.14, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.14, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.14, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.14, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.14, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.14, 0.08
ВЛАЖНОСТЬ	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.09, 0.01	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.01, 0.01	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.02, 0.01	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.03, 0.03	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.12, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.12, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.12, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.12, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.12, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.12, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.12, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.12, 0.08
ВИДИМОСТЬ	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.27, 0.12	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.17, 0.12	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.32, 0.09	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.35, 0.20	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.12, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.12, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.12, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.12, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.12, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.12, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.12, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.12, 0.08
ОСАДКИ	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.13-0.16	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.13-0.16	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.03, 0.03	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.09, 0.11	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.02, 0.01	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.02, 0.01	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.02, 0.01	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.02, 0.01	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.02, 0.01	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.02, 0.01	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.02, 0.01	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.02, 0.01
ТУМАН	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.20, 0.04	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.20, 0.04	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.04, 0.03	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10, 0.04	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.20, 0.04	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.20, 0.04	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.20, 0.04	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.20, 0.04	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.20, 0.04	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.20, 0.04	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.20, 0.04	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.20, 0.04
ИНТЕНСИВНОСТЬ СОННОЙ СИЯНИИ	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.03, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.03, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.03, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.05, 0.02	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.03, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.03, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.03, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.03, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.03, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.03, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.03, 0.08	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.03, 0.08
СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10, 0.15	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10, 0.15	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.07, 0.10	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.07, 0.10	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10, 0.15	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10, 0.15	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10, 0.15	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10, 0.15	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10, 0.15	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10, 0.15	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10, 0.15	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ N ₁ N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ r = 0.10, 0.15

r = 0.11 ВЛЯЕТСЯ ПОРОГОМ ДОСТОВЕРНОСТИ КОРРЕЛЯЦИИ

1) ЗНАК ↑ ПОКАЗЫВАЕТ ЧТО ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ПАРАМЕТРА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА (т.е. $\rho_{12} \approx \rho_{21} \approx \rho_{31} \approx \rho_{13} \approx \rho_{23} \approx \rho_{32}$) КОНЦЕНТРАЦИЯ ИОНОВ (см^{-3}) УВЕЛИЧИВАЕТСЯ ПРИ ЗНАКАХ ↑ ↑ ↑ ($\rho_{12} \approx \rho_{21} \approx \rho_{31} \approx \rho_{13} \approx \rho_{23} \approx \rho_{32}$) И УМЕНЬШАЕТСЯ ПРИ ЗНАКАХ ↓ ↓ ↓ СООТВЕТСТВЕННО.

Г. - ПОРОГ ДОСТОВЕРНОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕЛЯЦИИ

$\rho_{12} \approx \rho_{21} \approx \rho_{31} \approx \rho_{13} \approx \rho_{23} \approx \rho_{32}$
 $\rho_{12} \approx \rho_{21} \approx \rho_{31} \approx \rho_{13} \approx \rho_{23} \approx \rho_{32}$
 $\rho_{12} \approx \rho_{21} \approx \rho_{31} \approx \rho_{13} \approx \rho_{23} \approx \rho_{32}$
 $\rho_{12} \approx \rho_{21} \approx \rho_{31} \approx \rho_{13} \approx \rho_{23} \approx \rho_{32}$

ПРОТЯЖЕНОСТЬ ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ

дента. До этого, кроме 48 коэффициентов, вычисленных по данным наблюдений в г. Тарту в 1951 г., имелась всего 31 качественная ссылка о характере измерения концентрации ионов в зависимости от некоторых метеорологических элементов, причем

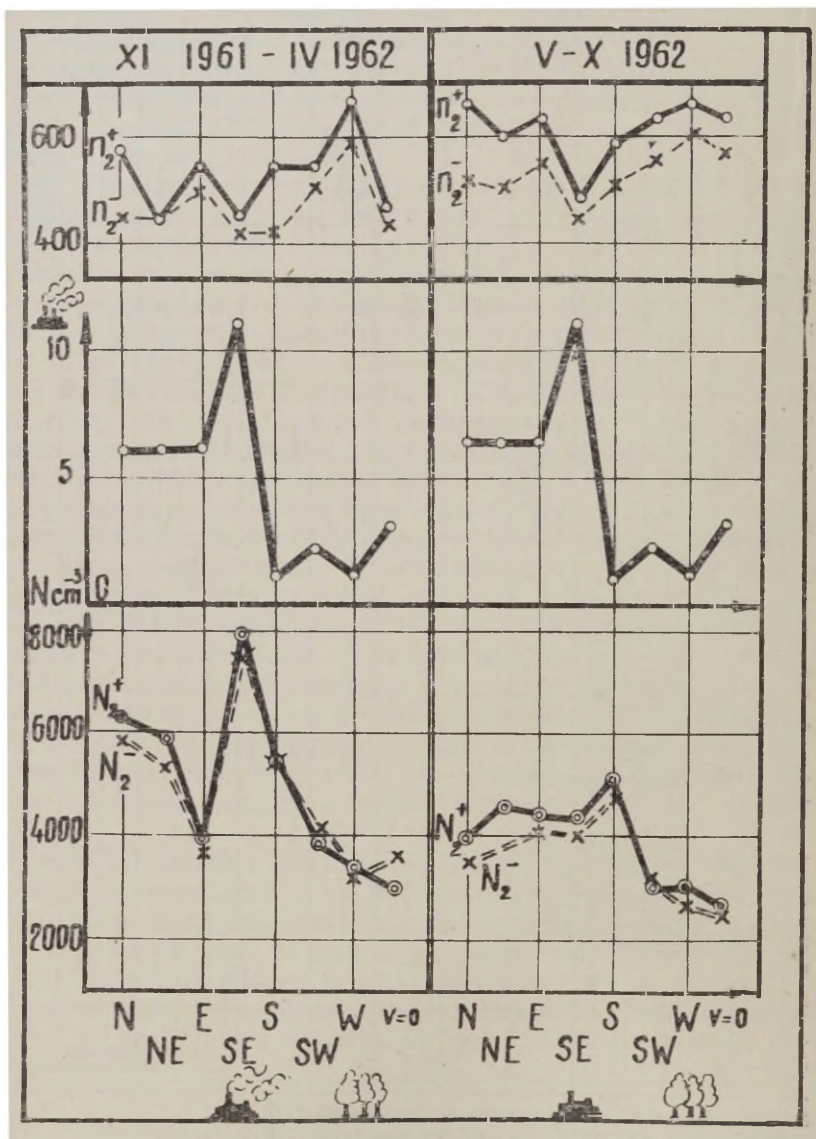


Рис. 13. Ход концентрации легких (p_2) и тяжелых (N_2) ионов при направлениях ветра с разных сторон света в холодном и теплом полугодиях 1962 г. и число труб центрального отопления по сторонам света с радиусом $R=420$ м вокруг главного здания ТГУ.

эти характеристики не были детализированы по сезонам (полугодиям) и не охватывали всех связей.

С целью выяснения влияния направления ветра, связь с которым определяется локальными особенностями, была сделана дополнительная обработка данных 1960—1962 гг. (рис. 13). При западных ветрах, дующих со стороны парка Тоомеяги, наблюдаются высокие концентрации легких ионов (p_2, p_1) и низкие концентрации тяжелых ионов (N_2, N_1). Наоборот, юго-восточные ветры, приносящие воздух из густонаселенного района с наибольшим количеством источников дыма (11 труб центрального отопления на расстоянии до 420 м от главного здания ТГУ), вызывают понижение (p_2, p_1) и повышение (N_2, N_1). Однако при любом направлении ветра корреляционные связи между концентрацией ионов и другими метеорологическими элементами не претерпевают заметных изменений. Этот вывод основан на результатах отдельной обработки данных по 8 румбам ветра и штилю, при которой концентрация легких ионов (p_2) сопоставлялась с семью метеорологическими элементами ($t, v, e, r, V = \bar{V}, S_c$), а концентрация тяжелых ионов (N_2) — с двумя метеорологическими элементами (e, r).

Влияние метеорологических элементов на концентрацию ионов (p_1, p_2, N_1 и N_2) наглядно видно из рис. 14 до 17 где даны для положительных ионов соответствующего полугодия коэффициенты корреляции (r) и прямые регрессии при $r > r_0$, где $r_0 = 0,11$ — порог достоверности.

Связи между концентрациями ионов и метеорологическими элементами в большинстве косвенные. Концентрация легких ионов (p_2, p_1) зависит: 1) от факторов, влияющих на интенсивность ионизации, например, условия выхода радона Rn [Стыро, 1959] из почвы (ветер, увлажнение и замерзание почвы и т. д.); 2) от концентрации аэрозолей (тяжелых ионов N_2) в атмосфере, с которой ход легких ионов противоположен.

По данным наших расчетов (табл. 4 и рис. 14 до 17) концентрация легких ионов (p_2) изменяется в одну сторону ($r > 0$) с видимостью (зимой $r = 0,32$, летом $r = 0,35$) интенсивностью прямой солнечной радиации ($r = 0,20$ и $0,22$), температурой (зимой $r = 0,13$), причем сами эти элементы положительно коррелируют между собой ($r = 0,21 \div 0,32$), и, наконец, со скоростью ветра (зимой $r = 0,10$, летом $r = 0,17$).

Обратное соотношение ($r < 0$) наблюдалось между концентрацией легких ионов (p_2) и целой группой метеорологических элементов, связанных между собой положительной корреляцией (с коэффициентами $r = 0,10 \div 0,44$) относительной влажностью, интенсивностью тумана, нижней облачностью (зимой), упругостью водяного пара (летом) и показателем состояния почвы. Для различных элементов значения r колеблются от $-0,3$ (относитель-

**Коэффициенты корреляции между концентрациями
ионов обоих знаков для групп n_2^\pm , n_1^\pm , N_2^\pm , N_1^\pm и метеорологическими элементами**

(По данным наблюдений с XI 1960 по X 1962 гг.)

№№ п/п	Метеорологический элемент	Холодное полугодие				Теплое полугодие			
		Легкие		Тяжелые		Легкие		Тяжелые	
		n_2^\pm	n_1^\pm	N_2^\pm	N_1^\pm	n_2^\pm	n_1^\pm	N_2^\pm	N_1^\pm
1	Температура (t)	0,13	(0,06) ¹	-0,19	-0,23	—	—	-0,12	-0,17
2	Атмосферное давление (p)	— ²	— ²	0,14	0,13	(-0,09)	-0,21	0,21	0,24
3	Скорость ветра (v)	(0,10)	0,12	-0,29	-0,30	0,17	0,18	-0,27	-0,29
4	Упругость водяного пара (e)	—	—	-0,18	-0,23	-0,22	(0,04)	-0,17	-0,17
5	Относительная влажность (г)	-0,26	(0,05)	—	—	-0,28	(0,04)	—	—
6	Количество нижней облачности (n_L)	-0,12	(0,06)	-0,12	-0,15	—	—	-0,12	-0,13
7	Видимость (V)	0,32	(0,09)	—	—	0,35	0,20	(-0,09)	-0,13
8	Осадки (S_{mm})	—	—	(-0,08)	(-0,09)	—	—	—	—
9	Интенсивность туманов (\equiv)	-0,20	(-0,04)	—	—	-0,28	-0,19	(0,10)	0,14
10	Интенсивность прямой солнечной радиации (S_c) ³	0,20	(-0,02)	—	—	0,22	(0,01)	—	—
11	Показатель состояния почвы (E)	-0,19	-0,11	0,14	0,15	-0,11	(-0,01)	-0,17	(-0,10)

¹ Коэффициент ниже порога достоверности $r_0=0,11$ заключен в скобки.

² Оба коэффициента ниже порога достоверности $r_0=0,11$.

³ На перпендикулярную лучам поверхность.

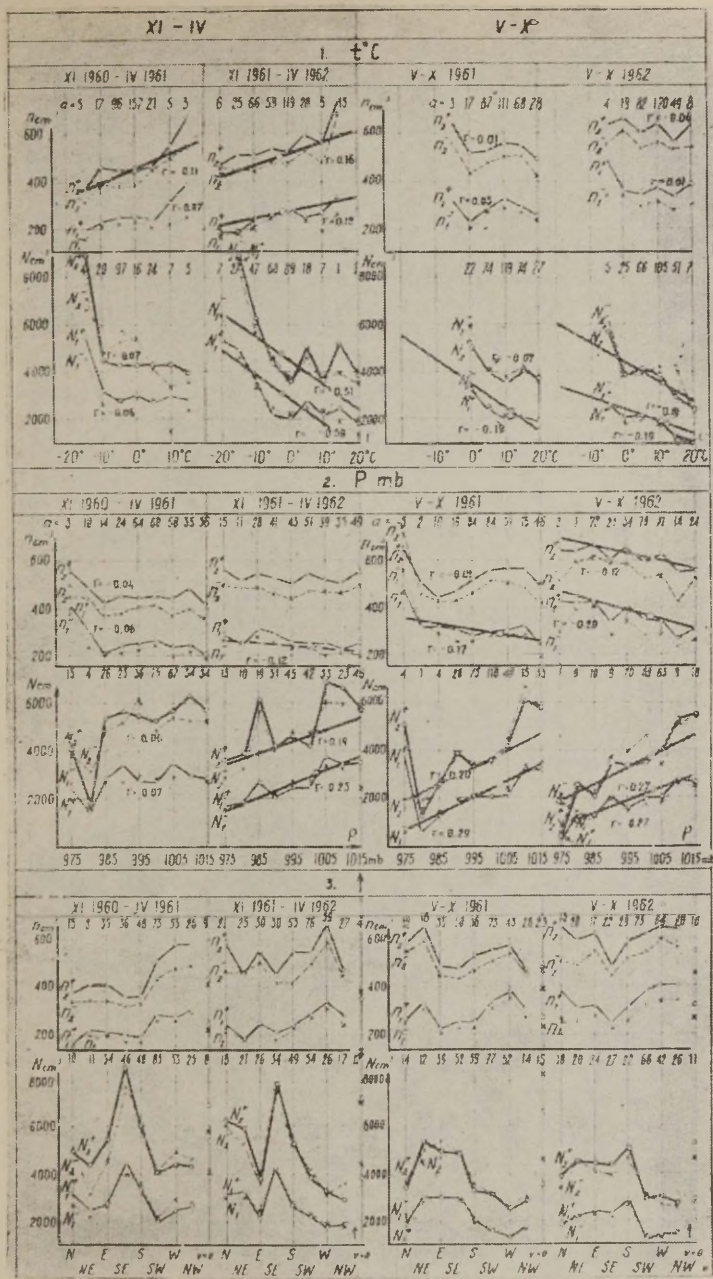


Рис. 14. Зависимость концентрации молионов (n_1) легких ионов (n_2), средних и полутяжелых ионов (N_1) и тяжелых ионов (N_2) от температуры (t), атмосферного давления (p) и направления ветра (\uparrow) с XI 1960 по X 1962 гг. Для положительных ионов на рисунках даны коэффициенты корреляции (r) и прямые регрессии при $r > r_0$, где $r_0 = 0,11$ — порог достоверности.

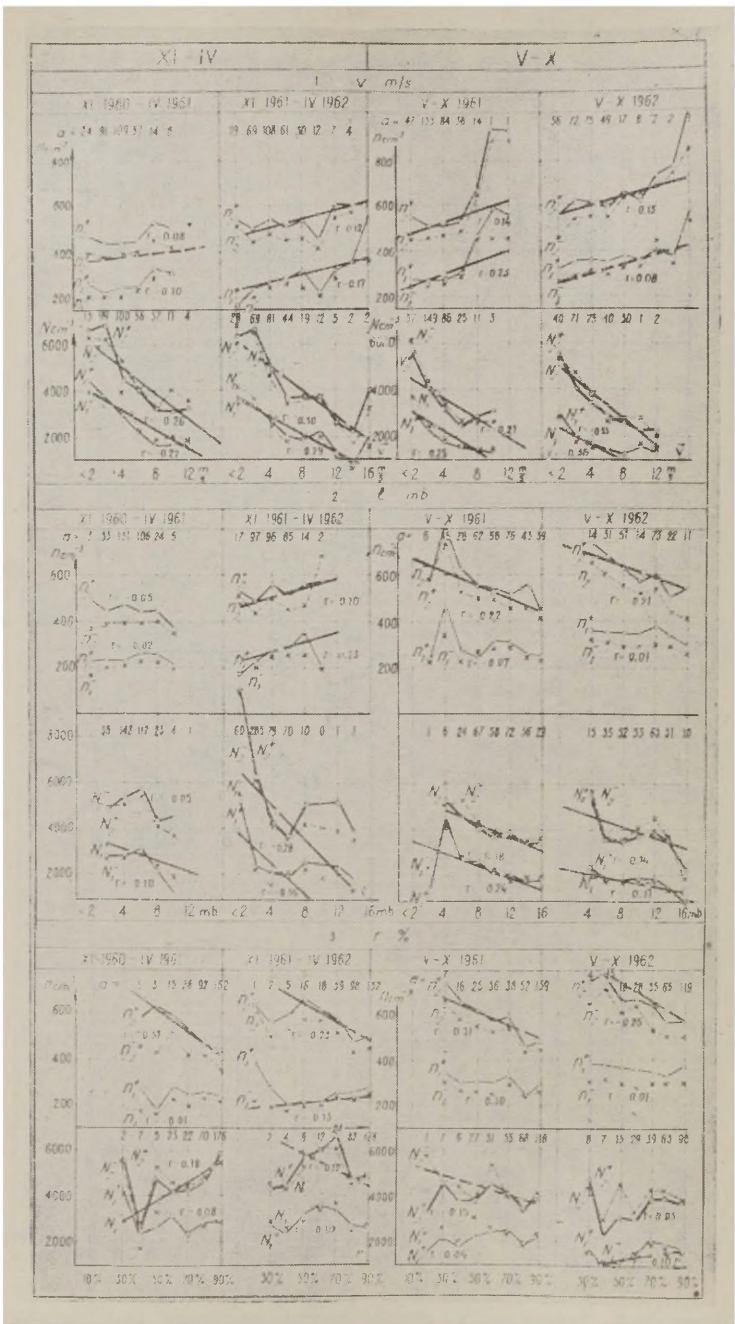


Рис. 15. Зависимость концентрации ионов от скорости ветра (v), упругости водяного пара (e) и от относительной влажности (r) с XI 1960 по X 1962 гг.

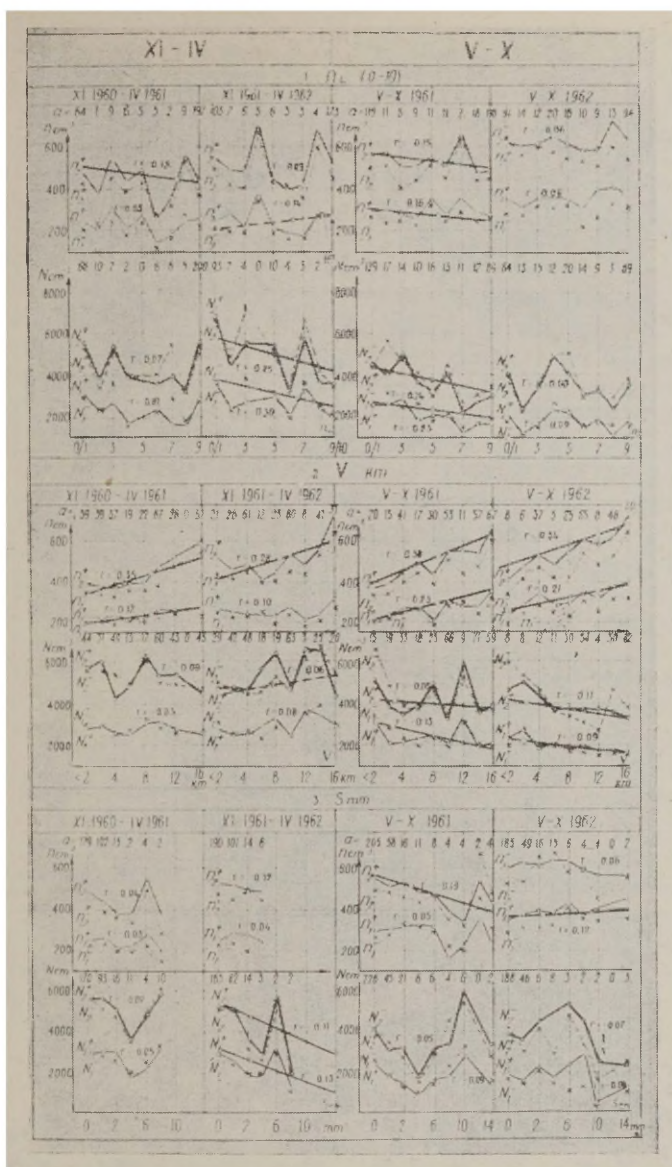


Рис. 16. Зависимость концентрации ионов от количества нижней облачности (p_L), видимости (V) и осадков (S_{mm}) с XI 1960 по X 1962 гг.

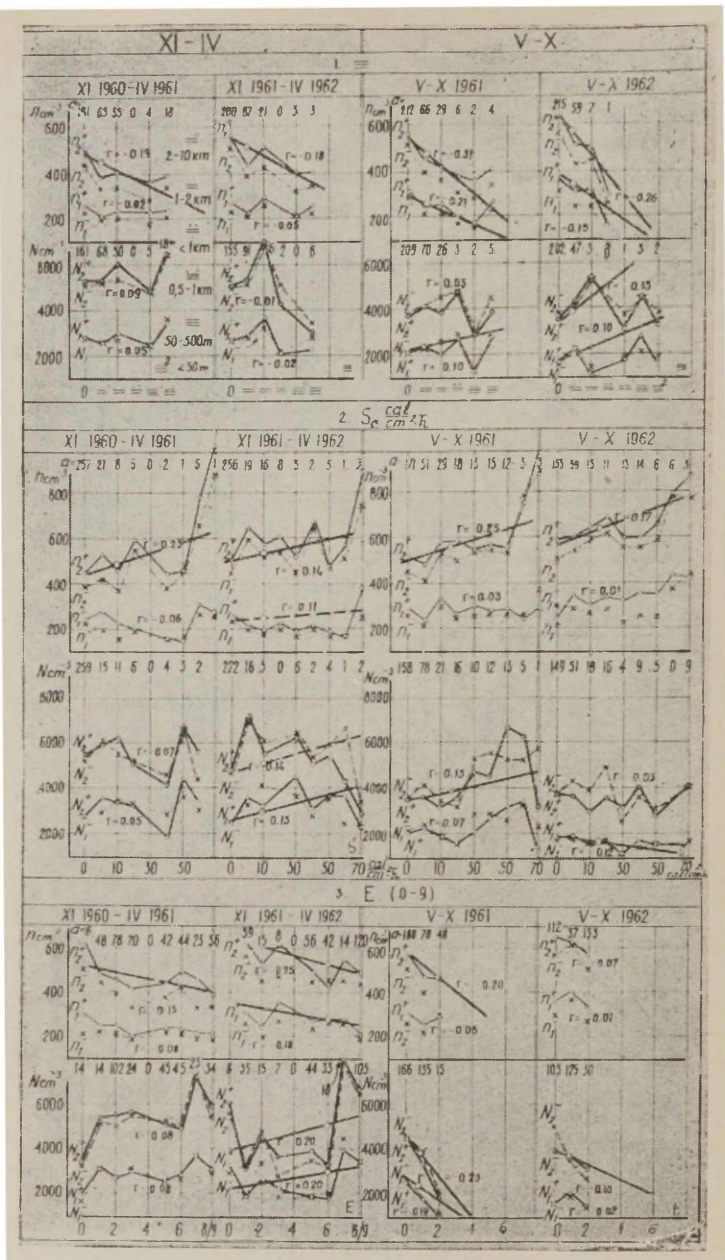


Рис. 17. Зависимость концентрации ионов от интенсивности туманов (\equiv), интенсивности прямой солнечной радиации (S_c) и показателя состояния почвы (E) с XI 1960 по X 1962 гг.

ная влажность, зимой $r = -0,26$, летом $r = -0,28$) до $-0,1$ (облачность).

Концентрация тяжелых ионов (N_2) изменяется одинаково ($r > 0$) с некоторыми элементами: атмосферным давлением, интенсивностью тумана (летом), показателем состояния почвы (зимой), при среднем значении r порядка $+0,15$. Для большинства элементов: скорости ветра, упругости водяного пара, температуры, нижней облачности, показателя состояния почвы (летом), которые связаны между собой положительной корреляцией (обычно с низкими значениями порядка $r = 0,04 \div 0,31$, но для температуры и упругости водяного пара летом $r = 0,67$, зимой $r = 0,71$), получается обратное соотношение, характеризующее отрицательными коэффициентами корреляции, лежащими в пределах от $-0,3$ до $-0,1$ (например, для скорости ветра зимой $r = -0,29$, летом $r = -0,27$, для нижней облачности летом $r = -0,12$).

Реальность коэффициентов корреляции подтверждает факт, что метеорологические элементы, связанные между собой положительной корреляцией, коррелируют однонаправленно ($r > 0$ или $r < 0$) с концентрациями ионов. Вследствие низких абсолютных значений коэффициентов корреляции между концентрацией ионов (n, N) и метеорологическими элементами, необходимо подробнее остановиться на вопросе об устойчивости полученных значений, от которых зависит реальная оценка значимости соответствующих связей. Корреляционные связи в г. Тарту несущественно изменились в течение 10 лет. При сравнении 80 комбинаций коэффициентов корреляции получается, что в 50% случаев разности коэффициентов в 1951 г. (r_1) и 1960—1962 гг. (r) подчиняются неравенству $|r_1 - r| \leq 0,1$, которое для определенности принято в качестве условия устойчивости коэффициентов корреляции. Среди остальных коэффициентов 36% от общего числа имеют попарно одинаковый знак, так что резкие расхождения встречаются только в 14% случаев [Прюллер и соавторы 1963а, 1966а, б; Prüller, Reinet, 1966].

При сравнении двух рядов, соответствующие члены которых могут отличаться по величине и по знаку, удобно пользоваться введенным автором количественным показателем, названным коэффициентом альтернативности A . Обозначим отдельные метеорологические элементы x_k , отдельные группы легких или тяжелых ионов n_i (n_1 и n_2) и N_j (N_1 и N_2) и два ряда соответствующих коэффициентов корреляции через $r(n_i, x_k)$ и $r(N_j, x_k)$.

Коэффициент альтернативности равен

$$A(n_i, N_j) = \frac{\sum_{k=1}^m |r(n_i, x_k) - r(N_j, x_k)|}{\sum_{k=1}^m |r(n_i, x_k) - r(N_j, x_k)| + \sum_{k=1}^m |r(n_i, x_k) + r(N_j, x_k)|} \quad (5)$$

Здесь: $i=1,2$; $j=1,2$; $k=1,2$, m , где m — число метеорологических элементов. Аналогично определяются коэффициенты $A(p_i, p_j)$ или $A(N_j, N_j)$ при метеорологических данных различных годов.

По определению значение коэффициента альтернативности $0 \leq A \leq 1$, причем, если соответствующие члены первого и второго ряда равны по абсолютной величине и одинаковы по знаку, то $A=0$, если же они при этом противоположны по знаку, то $A=1$.

В таблице 5 даны коэффициенты альтернативности, вычисленные на основе двух рядов коэффициентов корреляции между концентрацией положительных ионов и пятью метеорологическими элементами (t, p, e, g, V) для 1951 и 1960—1962 гг.

Таблица 5

Коэффициенты альтернативности $A(p_i^+, p_i^+)$ и $A(N_j^+, N_j^+)$

Сравниваемые периоды	p_1^+		p_2^+		N_1^+		N_2^+	
	хол. п/г	тепл. п/г	хол. п/г	тепл. п/г	хол. п/г	тепл. п/г	хол. п/г	тепл. п/г
1951 и 1960—1962 гг.	0,36	0,41	0,32	0,75	0,19	0,16	0,21	0,26

Малые значения A , полученные для тяжелых ионов (N_2, N_1), указывают на устойчивость корреляционной связи с метеорологическими элементами. Наоборот, для легких ионов встречаются ряды неопределенных и даже преимущественно противоположных оценок, так как значения A становятся уже сравнимыми с 0,5—1,0. Трудно допустить, чтобы явно выраженное различие в характере связей легких и тяжелых ионов с другими элементами не имело бы достаточно общих физических оснований. Рассматривая причинно-следственный ряд: радиоактивность — легкие ионы + аэрозоль — тяжелые ионы, можно заметить, что если радиоактивность положительно коррелирует с аэрозолем, характер связи легких и тяжелых ионов с другими элементами будет различным. При одновременном возрастании (убывании) концентрации аэрозолей и радиоактивности воздуха концентрация тяжелых ионов также возрастает (убывает), а концентрация легких ионов может как возрастать, так и убывать. Метеорологические элементы оказывают косвенное влияние на концентрацию ионов за счет воздействия на изменения радиоактивности и концентрации аэрозолей. Поэтому связь тяжелых ионов с метеорологическими элементами должна быть более определенной, чем связь легких ионов.

Уточнение границы между легкими и тяжелыми ионами может быть сделано на основе сравнения коэффициентов альтернативности различных парных последовательностей — коэффициентов корреляции между выбранными группами ионов и метеорологическими элементами. В результате исследования как годового и суточного ходов, так и корреляционных связей легких и тяжелых ионов с метеорологическими элементами еще более резко выделяются различия двух основных групп ионов, поведение которых в обычных условиях противоположно почти во всех отношениях, что может служить характерным признаком для первичной классификации.

Естественной границей между легкими и тяжелыми ионами может служить также один из минимумов спектральной кривой распределения ионов по размерам или, с другой стороны, по подвижностям. По измерениям Э. Юнкера и М. Мизаки [Yunker, 1940; Misaki, Kanazawa, 1968], этот минимум несколько сдвинут относительно принятого граничного значения $k=0,1 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ и расположен около $k=0,4 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$. Исследование спектра легких ионов и естественной радиоактивной пыли показывает, что максимумы спектральной кривой описываются формулой $R=R_0 \cdot 2^n$, где R — радиус частиц, $R_0=5,5 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ и $n=0, 1, 2$, [Махонько, 1963]. В этой формуле первый максимум ($n=0$) соответствует легким ионам, второй ($n=1$) экспериментально не обнаружен, а третий максимум ($n=2$) соответствует минимальным размерам радиоактивной пыли ($R=2,2 \cdot 10^{-7} \text{ см}$) и приходится на частицы с подвижностью $k=0,1 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$. Ближайший минимум спектральной кривой и искомая граница, вероятно, находятся около $k=0,2 \div 0,3 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$, что согласуется с измерениями Э. Юнкера.

Для проверки этой границы используем функциональные связи, характеризующие корреляционной зависимостью концентрации ионов от метеорологических элементов. Вычислим коэффициент альтернативности A по данным о коэффициентах корреляции между легкими ионами n_2 (первый ряд чисел) и тяжелыми ионами N_2 (второй ряд чисел) и группами n_1 (молионы) и N_2 . При этом берутся все коэффициенты корреляции, независимо от их величины (в том числе меньшие пороги достоверности, которые обычно по формальным соображениям отбрасываются). В таблице 6 приведены результаты расчетов, а также указано количество коэффициентов корреляции, попарно совпадающих (r^+) или противоположных (r^-) по знаку.

Для тяжелых ионов (N_2) и молионов (n_1) коэффициент альтернативности $A(n_1, N_2)=0,65 \div 0,70$, т. е. заметно больше 0,5, и противоположность свойств ионов группы N_2 (при верхней границе тяжелых ионов $k=0,1 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$) и n_1 (при нижней границе молионов $k=1,0 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$) выражена вполне определенно. Для коэффициента $A(n_2, N_2)=0,47 \div 0,58$ эти различия сти-

Коэффициенты альтернативности $A(p_1, N_2)$ и повторяемость знаков

Периоды	Группы ионов	$A(p_1, N_2)$	p^-	p^+
Холодные п/г 1960/61 и 1961/62 гг.	(n_2, N_2)	0,58	9	5
	(n_1, N_2)	0,70	11	3
Теплые п/г 1961 и 1962 гг.	(n_2, N_2)	0,47	5	9
	(n_1, N_2)	0,65	8	6
1960—1962 гг. в целом	(n_2, N_2)	0,50	7	7
	(n_1, N_2)	0,69	13	1

раются, поэтому граница между тяжелыми и легкими ионами расположена выше $k=0,1$ см²/сек·в. На основе только двух комбинаций нельзя полностью определить искомого границу между N и p . Учитывая, что эта граница $k_{гр}$ находится ниже предельного значения k для молионов, т. е. $k_{гр} < 1,0$ см²/сек·в, и выше верхней границы для тяжелых ионов, т. е. $k_{гр} > 0,1$ см²/сек·в, можно принять в качестве приближенной оценки границы между N и p значение $k_{гр} \approx 0,5$ см²/сек·в.

Таким образом, различные принципы подразделения ионов на две основные группы приводят практически к одинаковым результатам и подтверждают к тому же реальность корреляционных коэффициентов и метода альтернативности.

3.5. Расчет концентрации аэрозолей по данным измерений тяжелых ионов. Длительные систематические наблюдения за концентрацией аэрозолей проводились обычно вблизи больших промышленных городов, вследствие чего трудно оценить, насколько результаты этих измерений характеризуют естественный фон. Наиболее распространенная аппаратура для измерения ядер (счетчики типа Шольца) предназначена только для визуальных измерений. Поэтому результаты расчета концентрации ядер по концентрации тяжелых ионов представляют интерес и с методической стороны.

После определения переводного множителя счетчик тяжелых ионов, вместе с динамическим электрометром и самопишущим прибором, может быть использован в качестве непрерывного регистратора концентрации аэрозолей. Среднее соотношение концентрации аэрозолей Айткена ($0,5 < r \leq 20$ мкм) и концентрации аэрозолей в диапазоне размеров тяжелых ионов N_2 ($0,2 < r \leq 5,7$ мкм) оказалось равным 1,71. Это число определялось спектральной кривой Х. Юнге [Israël, 1957, стр. 182], перестроенной от логарифмической в линейный масштаб.

Отношение концентрации тяжелых ионов обоих знаков к общей концентрации аэрозолей принято по данным П. Н. Тверского [1949, 1962] равным 0,57 что основано на константах Р. А. Аллика. Теоретические расчеты других авторов [Фукс, 1955, 1964; Юнге, 1965; Junge, 1955] дают близкие к выбранному числу значения, и в самой последней экспериментальной работе получено значение 0,5 [Пастух, 1968]. Поэтому погрешность определения концентрации аэрозолей не превышает 15%. Аэрозоли Айткена рассчитаны по формуле

$$N_a = 1,71 \cdot \frac{N_2^+ + N_2^-}{0,57} = 3,0(N_2^+ + N_2^-). \quad (6)$$

Аэрозольные частицы, по данным проведенных измерений легких и тяжелых ионов, имеют эффективный радиус порядка 0,1 мкм. Средние годовые значения концентрации аэрозолей в 1961 и 1962 гг получились равными соответственно $25,4 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ и $27,1 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$, что хорошо согласуется с результатами измерений с помощью счетчика Шольца в других местах, где естественные условия мало нарушены: в аэропорту в Ленинграде $21,5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ [Селезнева, 1966, среднее за 1961—1964 гг.], в предместье Варшавы Свидше $16,0 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ [Gadomski, 1964, среднее за 1961—1962 гг.], в небольших городах $34,3 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ [по Х. Ландсбергу, без уточнения места и времени] (рис. 18). В среднем концентрация аэрозолей в г. Тарту приблизительно на 40% ниже, чем в г. Будапеште [Simon, 1966]. В годовом ходе минимальных концентраций аэрозолей средние месячные значения наблюдаются летом, максимальные — зимой. В зимнее время колебания концентрации аэрозолей связаны, в основном, с изменением количества дыма, поступающего в атмосферу из труб отопительных систем. В зимние месяцы 1960—1962 гг. концентрация аэрозолей была заметно ниже, чем в соответствующие месяцы 1951 г., когда она повышалась до значений порядка $(40—50) \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$.

3.6. Расчет плотности объемного заряда в г. Тарту. Плотность объемного заряда q (создаваемого частицами с радиусом меньше 5,7 мкм) определялась по формуле

$$q = (n_2^+ + N_2^+) - (n_2^- + N_2^-). \quad (7)$$

Средние годовые значения плотности объемного заряда в 1951, 1961 и 1962 гг равнялись соответственно 200, -30 и 280 (э. з) см^{-3} . Резкое понижение плотности q в 1961 г. вызвано, в основном, аномальным отрицательным объемным зарядом, наблюдавшимся в течение 3 месяцев (с апреля по июнь). В среднем за остальные 9 месяцев 1961 г. плотность объемного заряда понижена не так сильно и составляет +80 (э. з) см^{-3} . Аномальный объемный заряд в апреле—июне 1961 г. был связан преим-

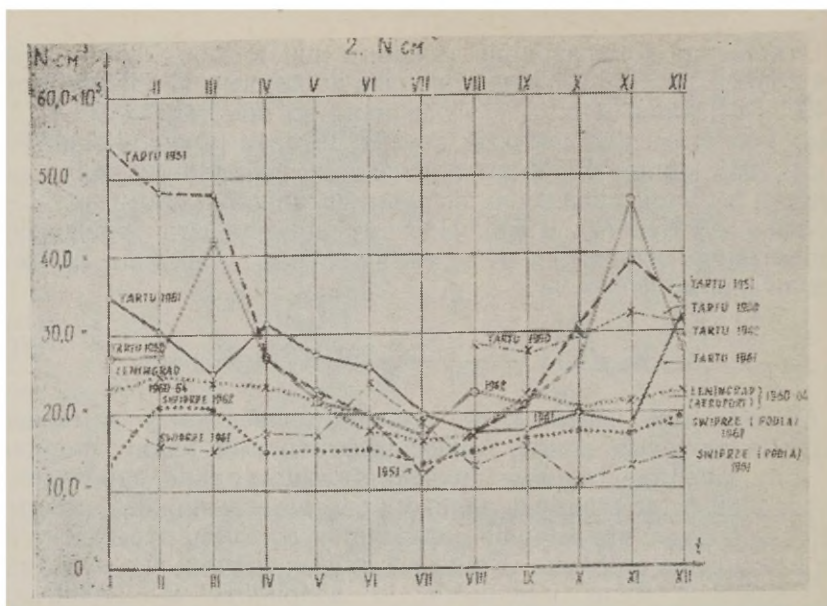


Рис. 18. Ход теоретически выведенных концентраций аэрозолей (ядер Айткена) в Тарту в 1951 г. за период VIII 1960—XII 1962 гг. и их сравнение с измерениями в Ленинградском аэропорту (у земли) и в предместье Свидше (в 15 км от г. Варшавы).

щественно с понижением положительных тяжелых ионов Ланжевена ($0,001 > k \geq 0,00025 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$), что обнаружено в Тарту в теплое время года в 1951 г. [Рейнет, 1958 б] и в 1961 г. автором.

Годовой ход плотности объемного заряда в г. Тарту (по наблюдениям в 1960—1962 гг.) характеризуется максимумом в зимние месяцы и поэтому в общих чертах согласуется с ходом объемного заряда и градиента потенциала электрического поля в других пунктах земного шара [Махоткин, Сущинский, 1960] (рис. 19).

Суточный ход плотности объемного заряда хорошо воспроизводится в соседние годы (1961—1962 гг.), но, в отличие от других мест [Ленинград—Лесной, 1923—1924 гг. и т. д.], имеет явно выраженный главный минимум в 4 часа, главный максимум в 10 часов, побочный минимум в 16 часов и побочный максимум в 19—22 часа.

Благодаря 8 группам ионов и длительному периоду измерений впервые появилась возможность дать совершенно новую характеристику спектра ионов по среднему значению плотности объемного заряда, создаваемого отдельными группами. По данным, приведенным в табл. 7, отдельные группы подвижности ионов либо достаточно резко отличаются по плотности объемно-

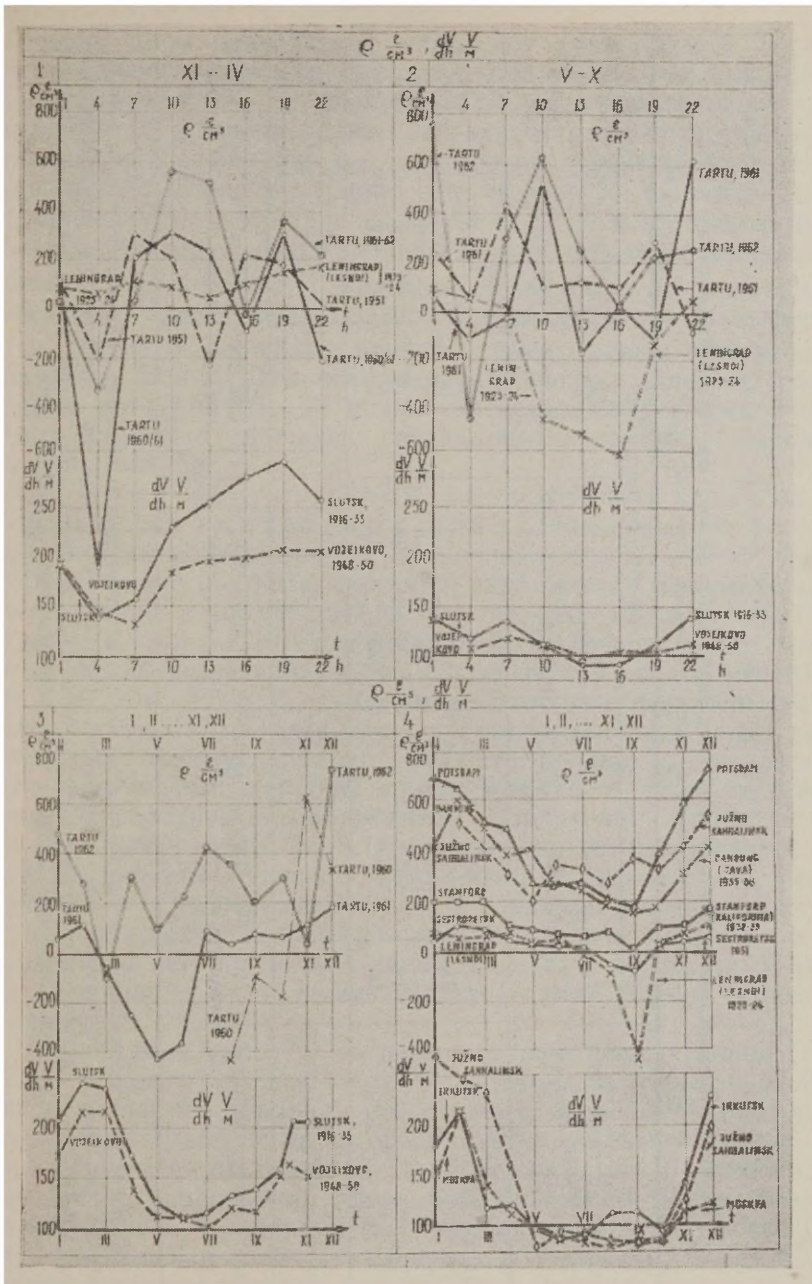


Рис. 19. Суточный и годовой ход объемного заряда в Тарту в 1951 г. и за период VIII 1960—XII 1962 гг. и сравнение его с ходом градиента потенциала электрического поля Земли в Слуцке и Воейково.

Распределение средних плотностей объемных зарядов (за 29 месяцев) и характеристики повторяемости средних месячных значений

1	Границы подвижности k_i (см ² /сек·в)	Группы подвижности							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		$\geq 2,5$	2,5—1;	1—0,5	0,5—0,1;	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,001	0,001— 0,00025
2	\bar{q}_i , (э. з) · см ⁻³	-7	+40	+30	-2	-3	-41	+93	-1
3	σ_i , (э. з) · см ⁻³	15	15	15	25	20	90	130	260
4	q^+ , %	24	100	93	38	45	31	76	45
	q^0 , %	14	0	4	24	24	7	3	0
	q^- , %	62	0	3	38	31	62	21	55
5	Знак объемного заряда	0	+		0	-		+	0
6	Группы спектра ионов	I. Мо- лионы	II. Легкие ионы		III. Промежуточ- ные ионы	IV. Средние ионы	V. Полутя- желые ионы	VI. Ионы Ланже- вена	

Обозначения: i — порядковый номер группы; k_i — соответствующие граничные подвижности; \bar{q}_i — средняя плотность объемного заряда для i -группы; σ_i — дисперсия (стандартное отклонение, определенное по номограмме); q^+ , q^0 и q^- — относительное число месяцев (в процентах от общего числа, равного 29), когда наблюдался соответственно положительный, нулевой или отрицательный объемный заряд.

го заряда, либо практически совпадают (пары 2 и 3, 4 и 5). В итоге можно предложить новый вариант классификации ионов (шестая строчка табл. 7), который отличается определенной систематичностью в выборе границ отдельных групп, тогда как традиционная классификация носит условный характер, вследствие чего вопрос об уточнении границ обычно даже не возникал. Данные, приведенные в таблице 7, подтверждают, в частности, правильность указанной выше границы между легкими и тяжелыми ионами ($k=0,5 \text{ см}^2/\text{сек в}$). Значение \bar{q}_1 для группы I (молионы) объясняется симметричным действием ионизаторов атмосферы, \bar{q}_1 для группы II, возможно, связано с электродным эффектом у поверхности Земли. Дальнейшее исследование найденных соотношений для групп III—VI может содействовать решению очень трудной задачи о причинах возникновения объемных зарядов различных знаков.

3.7 Опыт непрерывной регистрации легких и средних положительных ионов. Непрерывная регистрация положительных ионов с подвижностью $k \geq 0,02 \text{ см}^2/\text{сек в}$ производилась с помощью счетчика, снабженного динамическим электрометром и самописцем, в течение 1320 часов в 1962 г и 240 часов в 1963 г. При этом всего было проведено 65 круглосуточных серий измерений, из них 55 (обычно 4 раза в месяц) в 1962 г. и 10 в 1963 г. В этом участке спектра объединены ионы различных типов, поэтому зарегистрированные изменения концентрации, преимущественно соответствующие ходу легких ионов, в отдельные периоды приближаются к ходу тяжелых ионов. Соответствующим колебаниям концентрации легких ионов (n_2) аналогичен годовой ход (с максимумом летом и минимумом зимой), а в течение теплого полугодия также суточный ход (максимум в 1 час, минимум в 7 часов) и вариации в зависимости от направления ветра. Изменение суточного хода и зависимости от направления ветра в зимнее время указывает на то, что в этот период начинают преобладать характеристики, более типичные для тяжелых ионов.

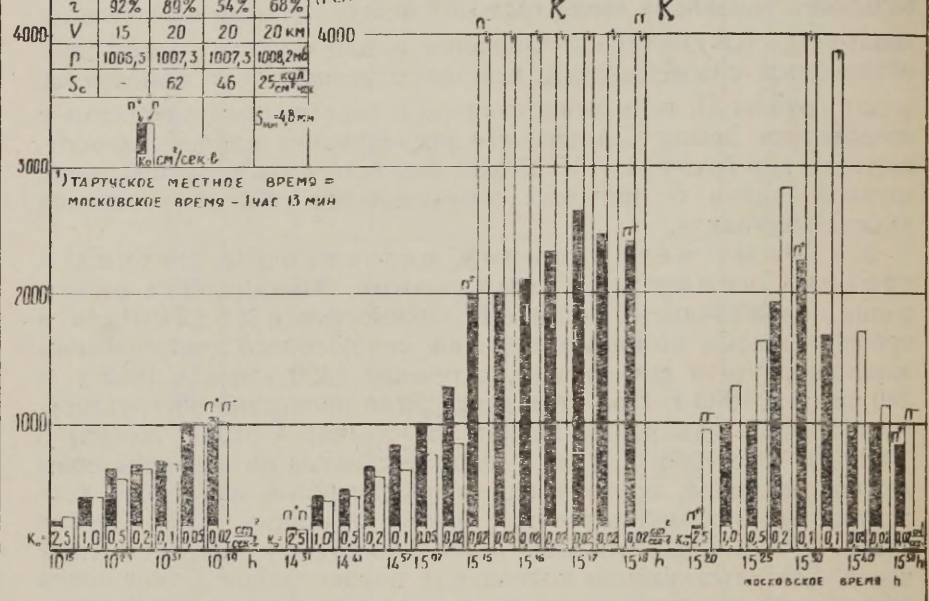
Для анализа хода концентрации положительных ионов ($k \geq 0,02 \text{ см}^2/\text{сек в}$) за все 55 суток, в течение которых в 1962 г. производилась непрерывная регистрация, были построены соответствующие графики, на которые наносились также данные метеорологических наблюдений. На этих графиках хорошо видно повышение концентрации ионов при повышении интенсивности прямой солнечной радиации (S_c), при увеличении видимости (V) и при уменьшении количества нижних облаков (n_L). Концентрация ионов понижалась при туманах (\equiv), при увеличении относительной влажности (r), при увеличении показателя состояния поверхности почвы (E) в холодное время (январь—март, декабрь) до 3 и более (почва мерзлая), а также при осадках (за исключением грозových дождей) В теплое время года (с апреля по

$n^*, n'', k \geq 0,02 \text{ см}^2/\text{сек}^2$

30 VII 1962

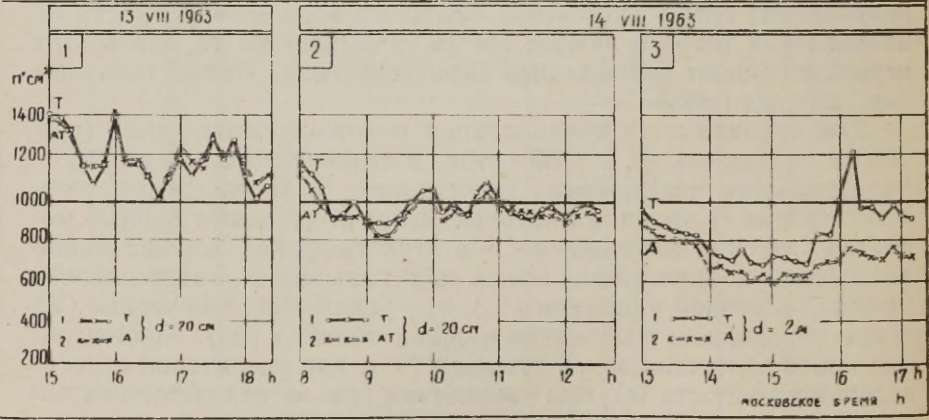
П.С.М.	ТАРТУСКОЕ МЕСТНОЕ ВРЕМЯ			
	1	7	13	19
↑ \bar{v}	W2	W3	WNW2	SSW4
n_L	10	7	7	2
t	11,6°	14,5°	18,7°	17,2°С
τ	92%	89%	54%	68%
V	15	20	20	20 км
ρ	1005,3	1007,3	1007,5	1008,2 мг
S_c	-	62	46	2°С/см ² /сек

ГРОЗОВОЙ ДОЖДЬ: см^3



ТАРТУСКОЕ МЕСТНОЕ ВРЕМЯ = МОСКОВСКОЕ ВРЕМЯ - 1 ЧАС 13 МИН

$n^*, k \geq 0,02 \text{ см}^2/\text{сек}^2$



ноябрь) уменьшение показателя состояния почвы (Е) на 0 (сухая) или 1 (мало влажная) сопровождается, наоборот, ростом концентрации ионов до среднего уровня $n=1000 \text{ см}^{-3}$ и даже выше. Во время грозового дождя концентрация отрицательных ионов резко увеличивается из-за баллоэлектрического эффекта (даже выше предела измерения аппаратуры $n=4000 \text{ см}^{-3}$), а концентрация положительных ионов увеличивается меньше ($1000—2800 \text{ см}^{-3}$) (рис. 20, верхний) [Прюллер и соавторы, 1966 б; Prüller, Reinet, 1966].

Для анализа изменений концентрации ионов в зависимости от синоптического положения были использованы карты, составленные Гидрометеослужбой ЭССР. В условиях циклонической погоды (особенно при прохождении холодных фронтов) концентрация ионов ($k^+ \geq 0,02 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$) обычно была ниже, чем при антициклонической погоде.

В заключение можно отметить, что изменения концентрации ионов внутри помещения почти точно следуют за изменениями концентрации ионов в открытом воздухе, но только на пониженном уровне (на $100—200 \text{ см}^{-3}$) (рис. 20, нижний)

4. Гигиеническое и биометеорологическое значение ионизации атмосферы

4.1. Характеристики загрязнения атмосферы. Исследования ионизации атмосферы имеют большое значение для гигиенической оценки загрязнения воздуха продуктами сгорания. Концентрация частиц, регистрируемых счетчиком тяжелых ионов ($0,1 > k \geq 0,00025 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$), составляет примерно 30% от концентрации атмосферных аэрозолей, причем это соотношение довольно устойчиво. Получение детальных систематических данных может быть облегчено путем замены визуального подсчета концентрации аэрозолей автоматической регистрацией концентрации тяжелых ионов с помощью современной самопишущей аппаратуры.

Исходя из ионизационно-рекомбинационного уравнения, можно показать [Махоткин, 1963], что при параллельных измерениях легких (n_2) и тяжелых (N_2) ионов интерес представляют дан-

Рис. 20. Верхний рисунок. Ионный спектр с предельными подвижностями $k_0=2,5; 1,0; 0,5; 0,2; 0,1; 0,05$ и $0,02 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ во время грозы 30 VII 1962 г. с 15¹⁵ до 15⁴⁵ часов, измеренный счетчиком с динамическим электрометром. Концентрации отрицательных ионов превышали предел счетчика $n=4000 \text{ см}^{-3}$. Нижний рисунок. Концентрации положительных ионов ($k \geq 0,02 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$), измеренные в главном здании ТГУ: 1) и 2) стационарный счетчик (кривая Т) и портативный счетчик (кривая АТ) с динамическими электрометрами при измерении атмосферного воздуха; 3) стационарный счетчик (кривая Т) измеряет ионизацию атмосферного и портативный счетчик (кривая А) ионизацию лабораторного воздуха.

ные не только о концентрации ионов, но также и о величине параметра

$$M = n \cdot N = \frac{n_2^+ + n_2^-}{2} \cdot \frac{N_2^+ + N_2^-}{2}, \quad (8)$$

где n — арифметическое среднее легких и N — тяжелых ионов обоих знаков.

Средние годовые значения параметра M по данным измерений в г. Тарту изменяются очень мало (в 1951, 1961 и 1962 гг. соответственно $2,0 \cdot 10^6$, $2,1 \cdot 10^6$ и $2,3 \cdot 10^6$ см⁻⁶), что свидетельствует об отсутствии заметного векового хода и достоверности измерений, проведенных в 1951 и 1961—1962 гг. По значению параметра M попутно получается оценка среднего (эффективного) радиуса частиц аэрозолей ($r \approx 0,1$ мкм). При устойчивых значениях M на практике часто используемый коэффициент загрязнения $c = \frac{N}{n} = \frac{N^2}{M} = \frac{M}{n^2}$ [Минх, 1963; Деляну, 1960] оказывается эквивалентным в смысле реально содержащейся в нем информации величине N^2 или, в конечном счете, N соответственно для легких ионов n^{-2} или n^{-1} . В последнем случае величина n обратно пропорциональна N и характеризует чистоту воздуха.

Практически для характеристики чистоты (или загрязненности) воздуха удобно выражать концентрацию легких (или соответственно тяжелых) ионов в относительных единицах, выбирая в качестве базисных значений величины, соответствующие мало загрязненному естественному воздуху. Более точные результаты получаются при одновременных измерениях в различных пунктах, что трудно осуществить в течение длительного времени. При обработке наблюдений, проведенных в г. Тарту, в качестве базиса были выбраны значения концентрации ионов, полученные по данным измерений в 1 час ночи. В это время городские условия вносят наименьшие искажения и полученные данные соответствуют мало загрязненному естественному воздуху. Замечательно, что в течение всего года концентрации тяжелых ионов N_2 в указанное время изменяются мало, колеблясь в достаточно узких пределах от 2000 до 3000 см⁻³. Для сравнения можно указать, что средние месячные значения N_2 в 7 часов достигают значений порядка 8500—12 800 см⁻³ (февраль 1961, март 1962 г.).

Для характеристики колебаний чистоты воздуха в г. Тарту приведены графики хода средних месячных значений суммы концентрации легких ионов n_2 обоих знаков по отдельным срокам (1, 7, 13 и 19 часов¹) и хода показателя чистоты воздуха

$$d = \frac{n_7^+ + n_7^-}{n_1^+ + n_1^-}; \quad \frac{n_{13}^+ + n_{13}^-}{n_1^+ + n_1^-}; \quad \frac{n_{19}^+ + n_{19}^-}{n_1^+ + n_1^-}; \quad (9)$$

¹ По тартускому местному времени.

где $n_1^+ + n_1^-$, $n_7^+ + n_7^-$ и т. д. — концентрация ионов в 1, 7 и т. д. часов (рис. 21). Аналогичные графики даются также для тяжелых ионов и показателя загрязнения воздуха (рис. 22).

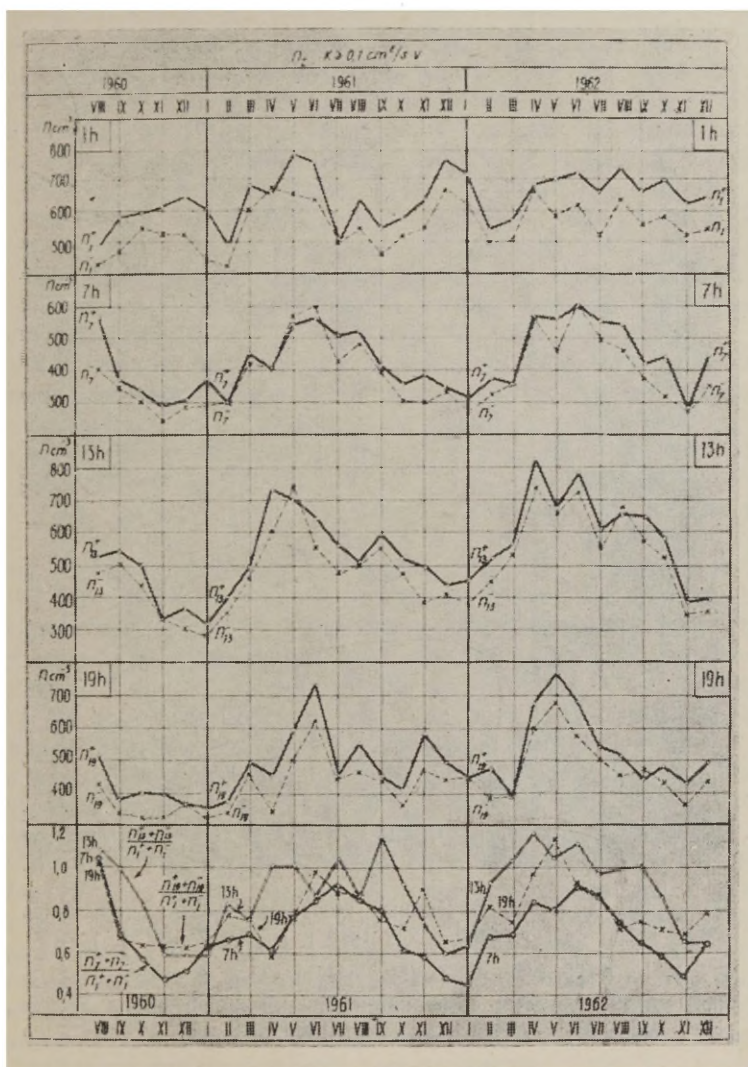


Рис. 21. Ход среднемесячных концентраций легких ионов (n_2^+ , n_2^-) с VIII 1960 по XII 1962 г. в 1 (n_1^+ , n_1^-), 7 (n_7^+ , n_7^-), 13 (n_{13}^+ + n_{13}^-) и 19 (n_{19}^+ + n_{19}^-) часов и числа отношений среднемесячных сумм концентраций ионов обоих знаков $n_7^+ + n_7^-$, $n_{13}^+ + n_{13}^-$ и $n_{19}^+ + n_{19}^-$ к сумме $n_1^+ + n_1^-$.

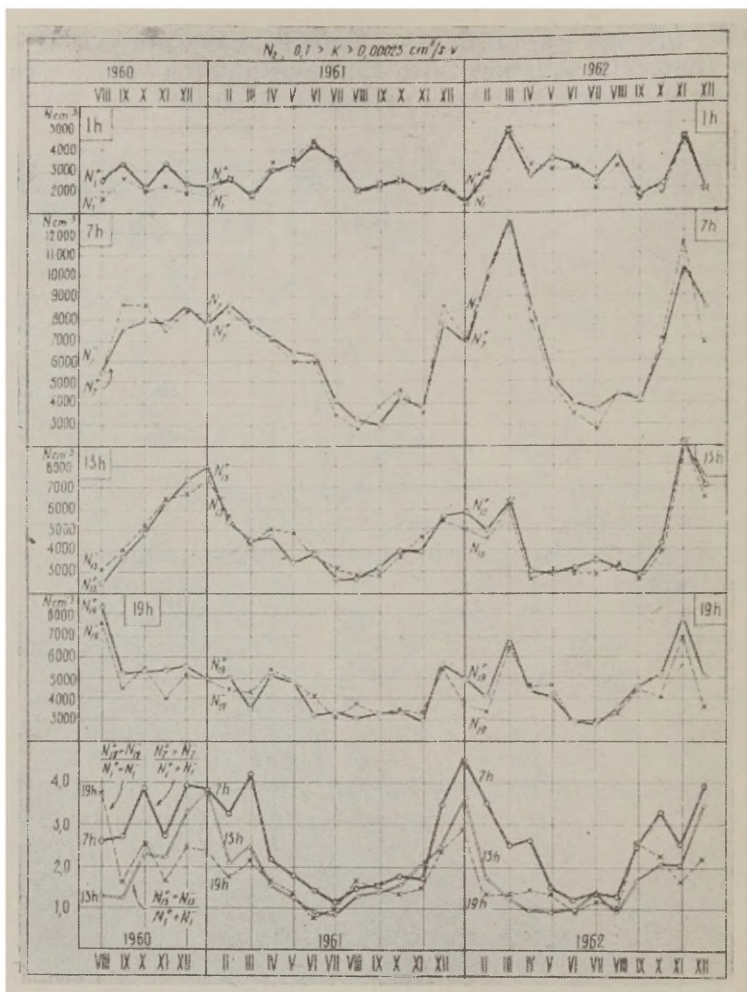


Рис 22. Ход среднемесячных концентраций тяжелых ионов (N_2^+ , N_2^-) с VIII 1960 по XII 1962 г. в 1 (N_1^+ , N_1^-), 7 (N_7^+ , N_7^-), 13 (N_{13}^+ , N_{13}^-) и 19 (N_{19}^+ , N_{19}^-) часов и числа отношений среднемесячных сумм концентраций ионов обоих знаков $N_7^+ + N_7^-$, $N_{13}^+ + N_{13}^-$ и $N_{19}^+ + N_{19}^-$ к сумме $N_1^+ + N_1^-$.

$$D = \frac{N_7^+ + N_7^-}{N_1^+ + N_1^-}; \quad \frac{N_{13}^+ + N_{13}^-}{N_1^+ + N_1^-}; \quad \frac{N_{19}^+ + N_{19}^-}{N_1^+ + N_1^-}. \quad (10)$$

4.2. Связь ионизации атмосферы с типами погоды. Влияние климата как многолетнего режима погоды и ионизации атмосферы изучалось многими исследователями [Ва-

ильев, 1953; Портнов, 1961 Минх, 1963; Reiter, 1960; Assmann, 1963; Kornblueh, 1960; см. также сборники «Вопросы климато-патологии», 1961; «Климат и сердечно-сосудистая патология», 1965]. В медицинской климатологии актуальное значение приобрел вопрос о типизации погоды для учета биологического влияния комплекса метеорологических элементов. Применяемая в курортологической и медицинской практике комплексная [Чубуков, 1949] или генетическая [Алисов, 1962] классификация слишком дробная, так как даже обширный статистический материал недостаточен для всех классов (14—16) при вычислении концентрации ионов. Автором применялась классификация с 7 типами, приспособленная к погоде Эстонской ССР [Прюллер, Рийв, 1965]. Для этого района подобная работа проводится впервые и охватывает к тому же связь между типами погоды и ионизацией атмосферы.

При типизации погоды для целей медицины и особенно курортологии учитывалось важное значение солнечной радиации, сильно влияющей на общий режим погоды, жизнедеятельность организмов, биологические процессы и т. д. [Кондратьев, 1954; Райк, 1963; Шварева, 1963]. Простейшей характеристикой радиационного режима является суточная продолжительность солнечного сияния, относительная s или истинная A^1 , с которой линейно связаны суточные суммы суммарной (прямой и рассеянной) радиации [Райк, 1963]. Продолжительность солнечного сияния регистрируется на 10 станциях Гидрометеослужбы ЭССР и публикуется в ежемесячнике. С медицинской точки зрения важны также факторы, действующие не только на открытом воздухе, но и в помещении: давление воздуха, содержание ионов и аэрозолей, естественное электромагнитное излучение в диапазоне частот порядка 10—100 кгц и выше [Israel, 1961]. Исследования многих авторов [сб. «Климат и сердечно-сосудистая патология», 1965; Reiter, 1960; Assmann, 1963] показывают, что резкое падение атмосферного давления, связанное с циклонической деятельностью, вызывает биологические реакции, особенно у больных гипертонической болезнью и сердечно-сосудистыми заболеваниями. По нашим данным (1960—1963 гг.), резкое повышение смертности от этих болезней в большинстве случаев наблюдалось при прохождении циклонов через г. Тарту. Поэтому для типизации погоды в медицинских целях надо учитывать также влияние циклонической деятельности.

В соответствии с этими общими положениями были выделены 7 типов погоды (3 антициклонических, 2 циклонических и 2 переходных), которые соответствовали условиям Эстонской

¹ Относительная продолжительность солнечного сияния $s = \frac{A}{B}$ где A — суточная истинная продолжительность и B — возможная суточная продолжительность солнечного сияния.

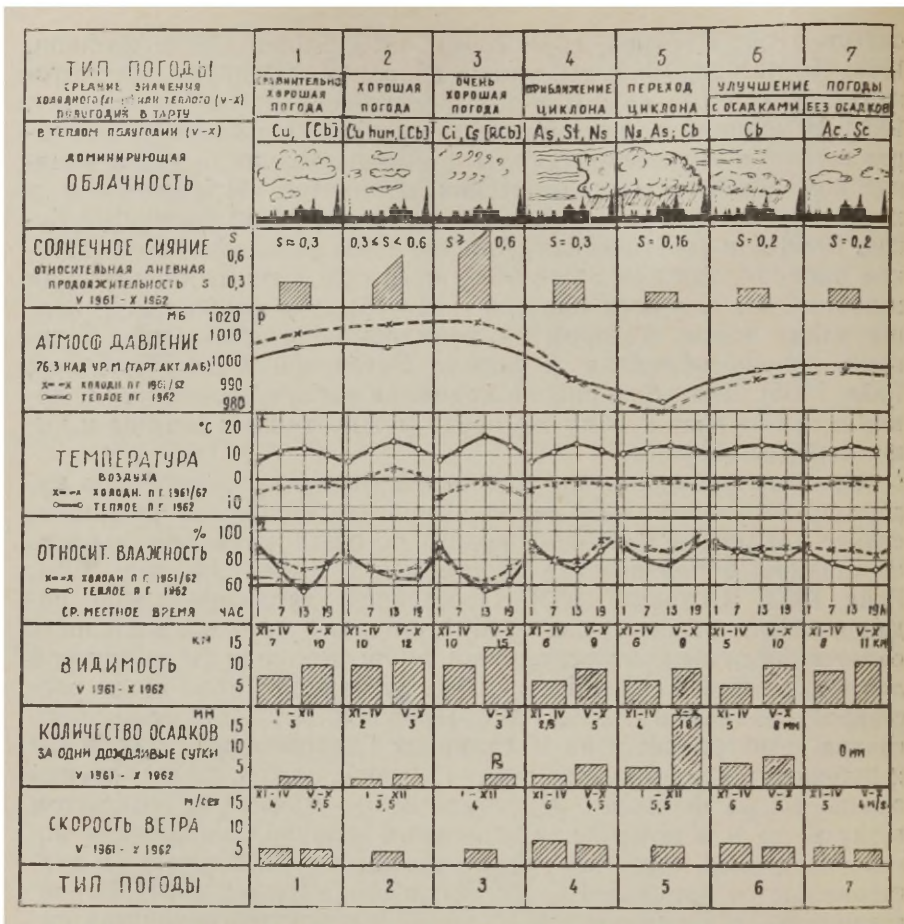


Рис. 23. Метеорологические характеристики типов погоды 1—7, составленные по метеорологическим данным г. Тарту в 1961 и 1962 гг.

СССР. Классификации с семью типами погоды уже предлагались для других мест [Шмидт, 1951; Ungeheuer, 1955; Brezowski, 1965], однако в них не были подчеркнуты первичные факторы классификации что создавало некоторые практические затруднения.

Типы нашей классификации расположены в следующем порядке (рис. 23).

1. Антициклоническая погода. Атмосферное давление по сравнению со средним повышено.

Тип 1. Относительно хорошая погода. Относительная продолжительность солнечного сияния $s \leq 0,3$.

Тип 2. Хорошая погода. Относительная продолжительность солнечного сияния в интервале $0,3 < s \leq 0,6$.

Тип 3. Очень хорошая погода. Относительная продолжительность солнечного сияния $s > 0,6$.

2. Циклоническая и фронтальная погода. Атмосферное давление по сравнению со средним понижено.

Тип 4. Начинаяющаяся перемена погоды (приближение циклона) Атмосферное давление резко падает. Относительная продолжительность солнечного сияния $s \approx 0,3$, быстрые переходы температуры летом от тепла к холоду. Зимой наоборот.

Тип 5. Совершившаяся перемена погоды (переход или близкий проход центра циклона). Минимум атмосферного давления и начало его увеличения, $s \approx 0,16$. Летом преимущественно холодно-влажно, зимой тепло-влажно.

3. Установление погоды. Атмосферное давление по сравнению со средним относительно низкое и неравномерно увеличивается.

Тип 6. Установление погоды с осадками, $s \leq 0,2$. Летом холодно-влажно, зимой тепло-влажно.

Тип 7. Установление погоды без осадков, $s \approx 0,2$. Летом холодно-сухо, зимой тепло-сухо.

Для каждого типа погоды составлены графики среднего суточного хода температуры, упругости водяного пара, а также указаны средние значения видимости, осадков и скорости ветра по данным наблюдений в г. Тарту в 1961—1962 гг. Распределение различных типов погоды в процентах от общего числа рассмотренных дней характеризуется данными, приведенными в таблице 8.

Таблица 8

Распределение типов погоды в г. Тарту в процентах от общего числа дней в интервале XI 1960 — X 1962 гг.

Время	Типы погоды (в %)							Число дней
	1	2	3	4	5	6	7	
Распределение в холодном полугодии (с XI по IV) в %	12,7	10,2	14,7	7,7	9,1	4,2	41,4	362
Распределение в теплом полугодии (с V по X) в %	12,2	26,6	20,4	3,3	3,5	13,6	20,4	368

¹ При типах погоды 4—7 отмеченная относительность солнечного сияния s является средней для г. Тарту по ежедневным данным 1962 и 1963 гг.

² В Уч. зап. ТГУ 1965, 178 на стр. 29 в тексте в таблице 1 тип 6 отмечен номером 7 и тип 7 номером 6.

В зависимости от типа погоды наблюдаются более или менее значительные изменения ионизации воздуха (рис. 24). Самая высокая концентрация легких ионов отмечена в наиболее солнечные дни (типы погоды 1, 2 с максимумом при типе 3). Так как лег-

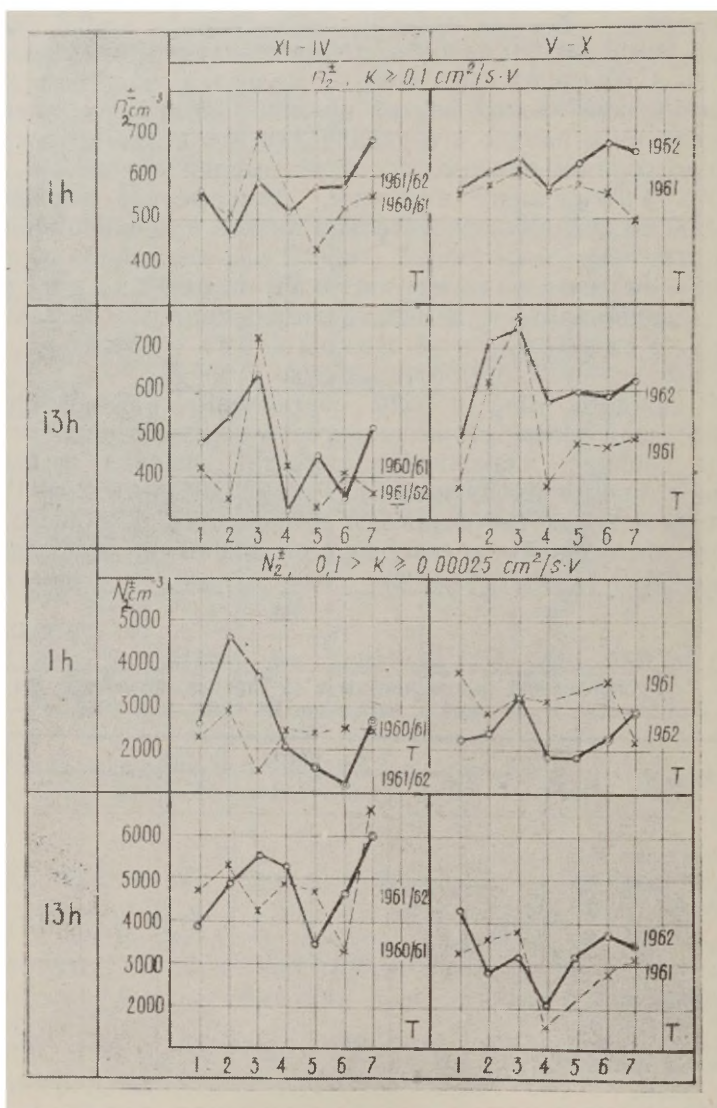
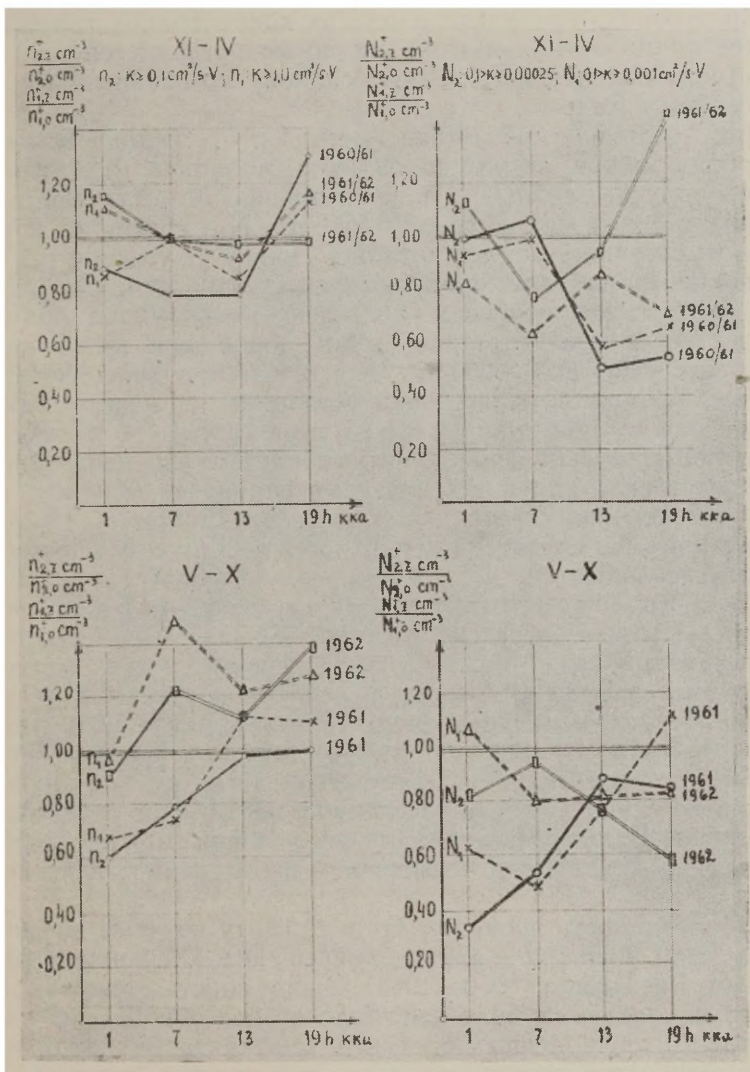


Рис. 24. Средняя концентрация легких ионов (n_2) и тяжелых ионов (N_2) обоих знаков по типам погоды с XI 1960 по X 1962 г. в теплом (V-X) и холодном (XI-IV) полугодиях в 1 и 13 часов в г. Тарту.

ким ионам (особенно отрицательного знака) приписывается благоприятное действие [Минх, 1963; Kornblueh, 1960], 3 тип погоды по сочетанию ряда положительных факторов является наилучшим с медицинской точки зрения. Минимум концентрации лег-



Р и с. 25. Суточный ход отношения концентраций положительных легких ионов n_{2z}^+ и молионов n_{1z}^+ , измеренных в циклональную погоду, к концентрациям легких ионов n_{20}^+ и молионов n_{10}^+ в холодном или теплом полугодии и соответствующие отношения концентраций тяжелых ионов N_{2z}^+ и полутяжелых и средних ионов N_{1z}^+ к N_{20}^+ и N_{10}^+ .

ких ионов приходится на 4 тип. Высокая концентрация тяжелых ионов наблюдается в течение холодного полугодия при типах погоды 1, 2 и 3 в связи с загрязнением воздуха дымом от топки печей. Осадки, характерные для 4 и 5 типов, вымывают часть тяжелых ионов, в результате чего их концентрация понижается. Концентрация легких и тяжелых ионов повышается при 7-ом типе (установление погоды без осадков) по сравнению с 5-м и 6-м типами погоды.

При циклонической погоде (типы 4 и 5) средние концентрации обоих знаков легких ионов (p_{2z}), молионов (p_{1z}), тяжелых (N_{2z}) и полутяжелых (N_{1z}) ионов меньше соответствующих средних полугодовых концентраций (p_{20} , p_{10} , N_{20} , N_{10}) (рис. 25). Это видно из суточного хода отношений (менее 1) упомянутых средних концентраций для холодных и теплых полугодий с XI 1960 по X 1962 гг. Исключением является лишь теплое полугодие 1962 г., когда концентрации легких ионов при типах погоды 4—7 были выше ($100\text{--}200\text{ см}^{-3}$), чем в 1961 г. (рис. 24). В циклонические типы погоды осадки устраняют из воздуха тяжелые ионы. Поэтому при циклонических типах погоды 4 и 5 зачастую встречающиеся скопления смертных случаев за день (рис. 27) непосредственно никак не связаны с влиянием тяжелых ионов (исключением является влияние смога в г. Лондоне). Предполагаемые причины повышения смертности при прохождении циклонов еще исследуются.

4.3. Биометеорологическое значение типов погоды и ионизации атмосферы. Биометеорология изучает взаимосвязи между геофизическими и геохимическими факторами атмосферной среды и живыми организмами — растениями, животными и человеком. Термин «среда» понимается в широком смысле и включает микро-, макро- и космическую среду [Биометеорология, 1965]. Биометеорология имеет важное значение в медицине, гигиене населенных мест и курортологии.

Изменение комплекса природных условий может сопровождаться понижением или повышением заболеваемости и смертности.

Заболеваемость и смертность в г. Тарту изучены по данным клинических больниц и Бюро записей актов гражданского состояния. За 4 года (1960—1963) было зарегистрировано 2615 смертных случаев от болезней. Годовой ход общей смертности и смертности от сердечных болезней (инфаркта миокарда и сердечно-сосудистой недостаточности) повышается зимой и понижается летом [Прюллер, Рийв, 1963 в, г] (рис. 26). В весенне-летний период, при повышенной концентрации легких ионов (преобладают типы погоды 2 и 3) уменьшается число заболеваний сердечно-сосудистой системы (стенокардия, инфаркт миокарда, тромбозы и эмболии). В качестве исключений можно отметить рост числа заболеваний в августе 1960 и 1962 гг.

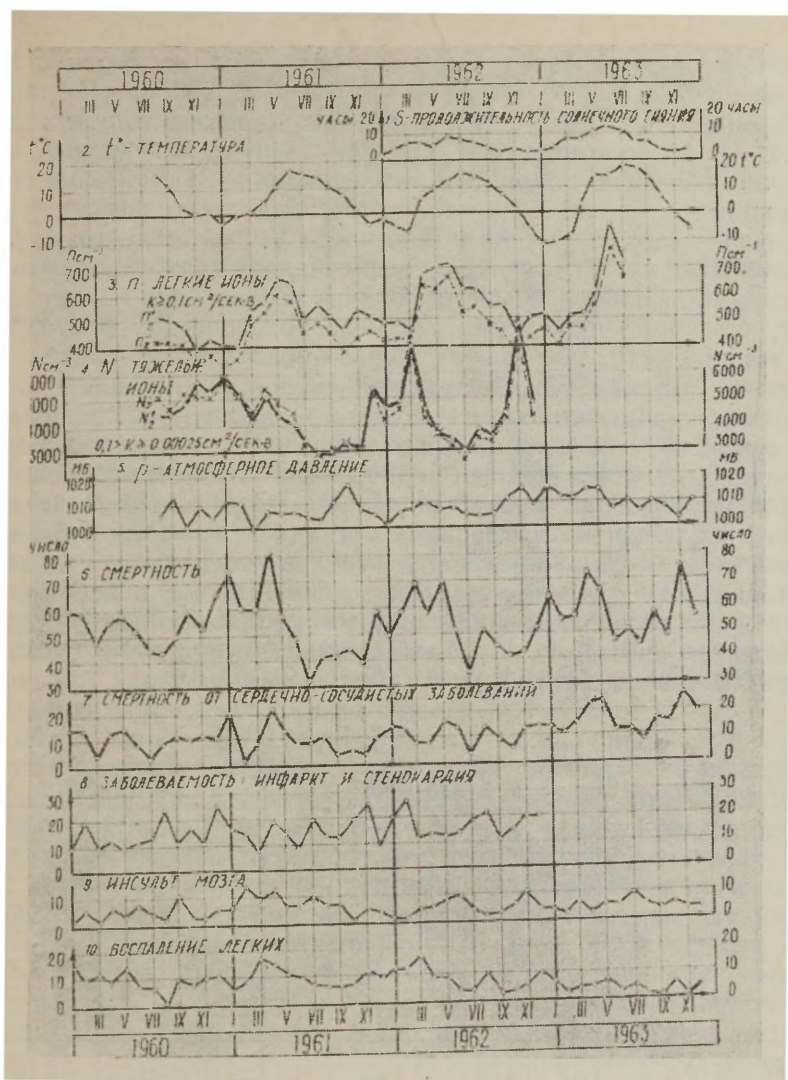


Рис. 26. Среднемесячные данные хода метеорологических элементов, концентрации легких (n_2) и тяжелых (N_2) ионов, смертности и заболеваемости за период с 1960 по 1963 гг. в г. Тарту.

Наиболее благоприятные условия для здоровья человека создаются в результате согласованного действия ряда положительных метеорологических факторов и воспринимаются в виде единого комплекса, включающего ионизацию атмосферы. Места с повышенной концентрацией легких ионов (в горах до $n = 2000 \text{ см}^{-3}$) считаются отличными курортами (на Кавказе, в

Крым, в Средней Азии). Особенно благотворным считают временное преобладание легких отрицательных ионов. По нашим исследованиям в г. Тарту в 1961—1963 гг. в каждом году и за весь период в июне совпадали среднемесячные максимумы концентрации легких ионов p_2 , интенсивности прямой солнечной радиации S_c (в 1962 и 1963 гг. также продолжительности суточного солнечного сияния A) и видимости V , свидетельствующей о чистоте воздуха. На июнь и июль падали также минимумы смертности и заболеваемости. Наши исследования подтверждают, что комплексное действие метеорологических факторов и ионизации оказывают благотворное биологическое влияние на человека [Минх, 1963; Койранский, 1965].

Согласно полученным материалам, случаи резкого повышения суточной заболеваемости и смертности распределены по типам погоды очень неравномерно. Сами типы погоды повторяются также с различной вероятностью (табл. 8). В течение 1960—1962 гг. при 1927 смертных случаях от болезней в г. Тарту было отмечено 76 пиков смертности (резкое повышение смертности за день в течение нескольких дней) (рис. 27). Процентное распределение пиков в зависимости от типов погоды, распределение типов погоды за весь год (средние числа табл. 8) и отношения этих чисел приведены в таблице 9.

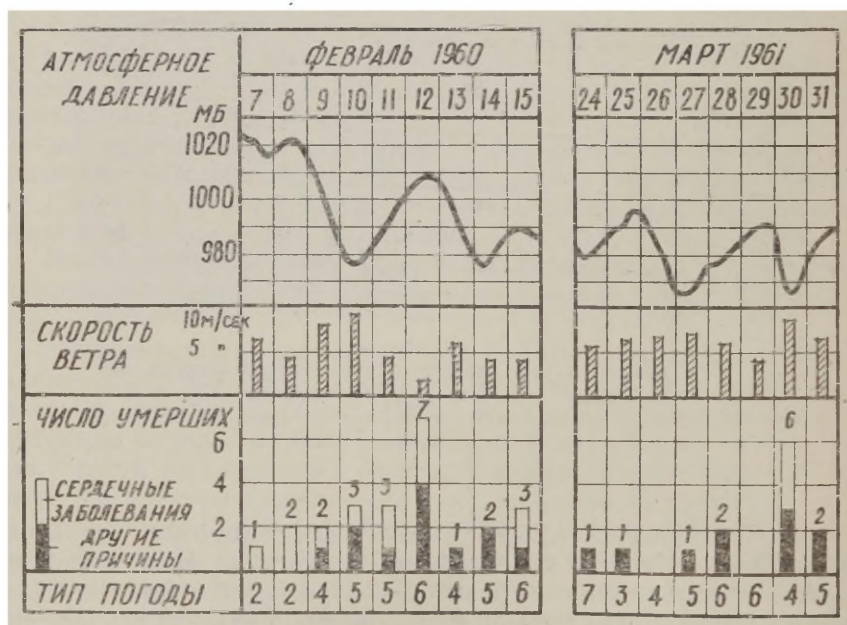


Рис. 27. Повышение смертности при резком падении атмосферного давления 10 II 1960 г. и 27 и 30 III 1961 г. в г. Тарту.

Удельное распределение пиков смертности по типам погоды в интервале XI 1960 — X 1962 гг.

Элементы	Типы погоды						
	1	2	3	4	5	6	7
Распределение							
а) пиков смертности в %	7	13	13	15	34	10	8
б) типов погоды в %	12	18	18	6	6	9	31
в) удельное пиков смертности	0,6	0,7	0,7	2,5	5,7	1,1	0,3

Для наиболее часто повторяющегося типа погоды 7 число резких повышений заболеваемости и смертности сравнительно мало. Такие случаи чаще всего наблюдаются при 4-м и 5-м типах погоды, повторяемость которых мала. Это приводит к крайне резкому повышению удельной повторяемости заболеваний и тяжелых исходов для 4 и 5 типов (циклоническая погода), которые оказываются исключительно неблагоприятными с медицинской точки зрения. Сосудистые кризы, стенокардии и инфаркты миокарда чаще обычно наблюдались при резком понижении атмосферного давления (в среднем при 4-м и 5-м типах погоды давление в г. Тарту понижалось на 6,8 мб за 6 часов вследствие прохождения близости центра циклона)

Атмосферное давление играет, возможно, роль сопутствующего фактора в отмеченных случаях резкого роста и обострения заболеваний, так как некоторые эффекты наблюдаются у метеоротропных людей за несколько дней до прохождения циклона (например, боли в суставах или ампутационных культях). Многие авторы объясняют эти эффекты, повышение кровяного давления и повышение смертности от сердечно-сосудистых заболеваний при циклонической погоде влиянием естественных электромагнитных волн (атмосфериков) на вегетативную нервную систему [сб. «Климат и сердечно-сосудистые заболевания», 1965; Reiter, 1960; Assmann, 1963]. Влияние электромагнитных волн на центральную нервную систему животных подтверждено опытами [Холодов, 1966]. Основная часть энергии атмосфериков, генерируемых грозовыми разрядами, сосредоточена в области сверхнизких частот порядка 4—50 кГц [Zink, Kuhnke, 1952].

Естественным излучателем радиоволн сверхвысокой частоты является Солнце. В 1960—1962 гг. 37 случаев циклонической деятельности (типы погоды 4 и 5) и пиков смертностей оказались слабо связанными с внезапным возрастанием потока радиоволн от Солнца на ультравысокой частоте 200 МГц по сравнению со спокойным Солнцем. Последнее служит прямым указанием на испускание Солнцем геоэффективных корпускул [Цимахович, 1967. 1968], которые могут влиять на живой организм и, возможно, на циркуляцию атмосферы. За три дня до наиболее близ-

кого приближения центра циклона к Тарту поток солнечных радиоволн не увеличивался в 38%, увеличивался от 2 до 9 раз в 40% и от 10 до 100 и больше раз только в 22% случаев при числе циклонов, равном 37. Земные факторы (атмосферики), по видимому, влияют сильнее, чем космические (потоки корпускул и радиоволны Солнца)

Проведенный автором анализ результатов биофизических исследований медиков ТГУ цитированных в работе [Сийрде, 1966], показывает, что применение аэроионо- и электроаэрозоль-терапии свидетельствует о более интенсивном искусственном использовании преимущественно в естественных условиях изученных факторов (электрический заряд ионов и аэрозолей и т. д.) для достижения их воздействия на биологические процессы в нужном направлении.

Полученные результаты подтверждают важность комплексных гигиенических исследований, т. к. влияние атмосферной ионизации нельзя изучать изолированно от других климатологических факторов [Минх, 1963]. Изучая влияние климата на человека, в медицинской профилактике, терапии и курортологии нужно исследовать воздействие не только метеорологических элементов, но и атмосферной ионизации, атмосферно-электрических явлений (атмосферики) и атмосферных аэрозолей (ядра) [Прюллер, 1966].

Заключение и выводы

Остановимся кратко на связи нижеприведенных основных выводов, обусловленной комплексным характером изучаемой проблемы. Важное значение для оценки результатов имеют подтверждение репрезентативности результатов измерений ионизации для характеристики естественного уровня ионизации (выводы, п. 3) и установление количественных соотношений между измеренными и истинными концентрациями ионов (п. 4). Достаточно надежные экспериментальные данные служат основой для уточнения структуры спектра ионов (п. 6), для нахождения корреляционных связей между концентрациями ионов и метеорологическими элементами (п. 15) и для выяснения степени связи ионизации с типами погоды (п. 17). Геофизические и медико-гигиенические работы сближаются еще теснее в результате подтверждения возможности использования концентрации легких (тяжелых) ионов как показателя чистоты (загрязненности) воздуха (п. 19). Биометеорологические и медицинские аспекты связывает представление об аэроионо- и электроаэрозоль-терапии как методе воздействия на биологические процессы путем искусственного усиления факторов, положительное действие которых на здоровье человека было изучено первоначально в естественных условиях (п. 25)

1. В целях исследования ионизации атмосферы в г. Тарту с VIII 1960 по VII 1963 гг. за три года было сделано 27 731 измерений 5 групп легких и средних ионов и в том же промежутке в течение 29 месяцев — 11 085 измерений 3 групп тяжелых ионов.

2. Автором совместно с О. Саксом приспособлен комбинированный счетчик ионов с динамическим электрометром и самописцем для непрерывной регистрации концентрации ионов. В 1962—1963 гг. было осуществлено 65 круглосуточных непрерывных циклов измерения концентрации положительных средних ионов с подвижностью $k \geq 0,02$ см²/сек в.

3. По данным одновременной десятидневной регистрации 19—28 VIII 1963 г. средних положительных ионов ($k \geq 0,02$ см²/сек в) в городе (ТГУ) и за городом (в Актинометрической лаборатории ИФА АН ЭССР), результаты систематического исследования ионизации атмосферы с помощью стационарного счетчика, установленного в здании ТГУ, являются в среднем вполне репрезентативными и характеризуют в течение теплого полугодия естественный уровень ионизации и его периодические колебания. В холодное время года естественный уровень ионизации характеризуется результатами измерений, проведенных в 1 час ночи, когда при перерыве в отоплении уменьшается загрязненность воздуха.

4. Для получения истинной концентрации молионов (n_1 , $k \geq 1,0$ см²/сек в) и легких ионов (n_2 , $k \geq 0,1$ см²/сек в) при вычислении спектра ионов был широко использован численный (аналитический) метод [Х. Таммет, 1967]. В условиях мало загрязненной атмосферы истинные концентрации ионов α — группы (молионов) n_α на 20—30% ниже концентрации n_1 ; для ($\alpha + \beta$) — группы (легкие ионы) концентрация $n_{\alpha + \beta}$ на 20% ниже концентрации n_2 . Средние подвижности положительных ионов одинаковы с подвижностями отрицательных ионов (β — группа, промежуточные ионы) или меньше (α — группы) средней подвижности отрицательных ионов.

5. Благодаря полноте и систематичности измерений можно не только уточнить некоторые данные, но и наметить новые пути для подхода к экспериментальному решению проблемы о структуре спектра ионов. Вычисления спектра ионов подтверждают существование промежуточных ионов ($1 > k \geq 0,1$ см²/сек в), истинные концентрации которых увеличиваются летом ($n_\beta \approx 300$ см⁻³) и уменьшаются зимой ($n_\beta \approx 180$ см⁻³). Коэффициент униполярности легких ионов и молионов имеет в среднем значения порядка 1,1—1,2, а тяжелых ионов — около 1,0. Данные о среднем значении плотности объемного заряда в 1951, 1961 и 1962 гг. [соответственно 200, —30 и 280 (э.з.) см⁻³] выдвигают ряд измерений в г. Тарту, так как систематические повторные измерения плотности объемного заряда нигде больше не проводились. В результате анализа данных длительных систематических

измерений намечено естественное подразделение спектра ионов в зависимости от знака среднего объемного заряда.

6. Отдельные оценки, вытекающие из общих физических соображений, не были замечены раньше и получены в результате анализа измерений 1961—1962 и 1951 гг. Например, применение коэффициента альтернативности A , введенного автором для сравнения статистических рядов, показывает, что а) корреляционные связи между метеорологическими элементами и концентрациями тяжелых ионов (N_2) оказались устойчивее соответствующих связей с легкими ионами (n_2); б) в качестве границы между легкими и тяжелыми ионами можно принять значение $k = 0,5 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$, что подтверждает и ряд других оценок. Подгруппа молионов ($k = 2,5 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$) обладает в среднем почти нулевым, а подгруппа легких ионов ($2,5 > k \geq 0,5 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$) обладает положительным объемным зарядом. Подразделение спектра ионов на группы по величине и знаку плотности объемного заряда дает новые, физически обоснованные основы классификации ионов. Эти результаты не могут быть предсказаны заранее и оказываются неожиданными в свете обычных представлений об условности деления спектра ионов на группы с подвижностями $k \geq 1,0$, $k \geq 0,1$ и т. д., сложившиеся еще у крупнейших специалистов [П. Н. Тверской, Х. Израэль].

Получены данные, характеризующие спектр относительных амплитуд (отношение разности экстремальных концентраций и соответствующих средних) колебаний концентрации атмосферных ионов для следующих квазипериодов: 10 лет, год, сутки и 10 минут. Амплитуды колебаний с годовым и суточным периодами получаются больше (от 0,4 до 0,9) и с 10-летним и 10-минутным периодами меньше (от 0,1 до 0,2)

8. Годовые колебания концентрации легких ионов в общих чертах синфазны колебаниям температуры, видимости, суточной продолжительности солнечного сияния и противофазны колебаниям относительной влажности, показателям состояния почвы и концентрации тяжелых ионов (N_2). Наиболее характерной особенностью является противоположное поведение концентрации легких и тяжелых ионов.

9. За десять лет (с 1951 по 1961—1962 гг.) по измерениям в г. Тарту концентрация молионов возросла приблизительно на 20%, легких ионов почти не изменилась, а концентрация тяжелых ионов снизилась в 1961 г. почти на 20%. В соседние годы (1961—1962 гг.) концентрация тяжелых ионов изменилась мало (особенно в весенне-летний период). Очень устойчивыми оказались средние значения параметра $M = \frac{n_2^+ + n_2^-}{2} \cdot \frac{N_2^+ + N_2^-}{2} (2,0 \cdot 10^6, 2,1 \cdot 10^6 \text{ и } 2,3 \cdot 10^6 \text{ см}^{-6} \text{ соответственно для } 1951, 1961 \text{ и } 1962 \text{ гг.})$. Если сравнить коэффициенты корреляции концентрации ионов и метеорологических элементов, вычисленных в 1960—1962 гг., с

коэффициентами 1951 г., то оказывается, что в 50% случаев за 10 лет произошло мало изменений ($|r - r_1| \leq 0,10$), в 36% случаев сохранялся знак коэффициента и в 14% случаев знак коэффициента менялся.

10. В годовом ходе на холодные месяцы приходится максимум концентрации тяжелых (N_2), полутяжелых (N_1) и средних (N_0) ионов (ноябрь, январь, март) и минимум концентрации молионов (p_1) и легких ионов (p_2) (январь, февраль, март). Летом и весной отмечаются минимум концентрации всех групп (N_2, N_1, N_0) тяжелых ионов (июль, август) и максимум концентрации всех групп (p_2, p_1) легких ионов (май, июнь). За весь период измерений (1961—1963 гг.) наибольшая концентрация легких ионов наблюдалась в июне 1963 г., когда была наибольшей и продолжительность солнечного сияния. Наиболее существенной особенностью годового хода плотности объемного заряда q является отсутствие сентябрьского минимума, которому по данным очень небольшого числа пунктов, где производились систематические измерения (менее 10 на всем земном шаре), приписывалось ранее универсальное значение.

11. Суточный ход ионизации атмосферы характеризуется сравнительно резкими колебаниями в течение первой половины суток. Максимумы концентраций легких ионов и молионов приходятся обычно на 1 час ночи, а минимумы на 7 часов утра, противоположный ход имеют в целом концентрации тяжелых, промежуточных и средних ионов. Главный утренний минимум концентрации легких ионов и максимум концентрации тяжелых ионов в 7 часов совпадают по времени с началом топки печей, когда предутренняя инверсия способствует накоплению ядер в приземном слое воздуха. В течение первой половины суток наблюдаются также небольшие колебания коэффициента униполярности легких ионов (максимум в 4 часа, минимум в 10 часов) и плотности объемного заряда (минимум в 4 часа, максимум в 10 часов). На вторую половину суток приходятся только вторичные максимумы и минимумы различных характеристик ионизации атмосферы.

12. В результате одновременных измерений ионизации атмосферы на том же месте с помощью двух счетчиков с самописцами обнаружены реальные короткопериодические колебания (с квазипериодами менее часа) концентрации ионов, имеющие обычно сравнительно малые амплитуды. При резком уменьшении или увеличении облачности кривые, зарегистрированные обоими счетчиками, синхронно повышаются и понижаются. Очень похожие колебания (с относительными амплитудами 0,1—0,5 и частотами 2—4 час) наблюдались также на расстоянии 3,5 км от основного пункта измерений при прохождении фронтов, вызывающих резкое изменение облачности, и при дальней грозе. Сходство кривых обусловлено тем, что в это время общие фак-

торы (облачность, гроза, фронты и т. д.) сильнее влияют на ионизацию атмосферы, чем локальные возмущения. Однако локальные возмущения в городе и за городом нередко приводят к расхождениям по амплитуде, частоте и среднему уровню колебаний. Действие облачности проявляется как за счет собственных электрических полей облаков, так и в результате изменения напряженности электрического поля Земли.

13. Электрические (ионизационные) характеристики атмосферы тесно связаны с важной неэлектрической характеристикой — концентрацией аэрозолей, прямая непрерывная регистрация которой затруднительна. Результаты расчета концентрации аэрозолей по данным систематических измерений концентрации тяжелых ионов (N_2) в г. Тарту хорошо согласуются с величинами, измеренными с помощью счетчика Шольца в пунктах, где отсутствуют заметные нарушения естественных условий. Средние годовые значения концентрации аэрозолей в г. Тарту равнялись соответственно $25,4 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ (в 1961 г.) и $27,1 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ (в 1962 г.)

14. На основе сравнения среднемесячных значений метеорологических элементов, измеренных в течение 3 лет на станциях а) Актинометрическая лаборатория ИФА АН ЭССР, б) Гидрометеослужба ЭССР г. Тарту, в) Главное здание ТГУ (в течение 2 лет), можно заключить, что метеорологическая обстановка г. Тарту описывается станциями а) и б) достаточно полно и надежно.

15. Связь между концентрацией ионов и метеорологическими элементами имеет в большинстве случаев косвенный характер. Для установления корреляционной связи использованы наблюдения трех имеющихся метеостанций. По данным измерений 1960—1962 гг. были вычислены 88 коэффициентов линейной корреляции для 11 метеорологических элементов и 16 оценок изменения концентрации ионов в зависимости от направления ветра. Абсолютные значения 45 коэффициентов лежат в пределах от 0,11 до 0,35, т. е. больше порога достоверности ($r=0,11$ при вероятности нуль-гипотезы 0,05).

Концентрация легких ионов (n_2) заметно коррелирует с метеорологическими элементами; положительно — с видимостью, интенсивностью прямой солнечной радиации, скоростью ветра, температурой (зима), отрицательно — с относительной влажностью, интенсивностью туманов, показателем состояния почвы, упругостью водяного пара (лето), количеством нижней облачности (зима). Концентрация тяжелых ионов (N_2) коррелирует положительно с атмосферным давлением, показателем состояния почвы (зима), интенсивностью туманов (лето) и отрицательно — со скоростью ветра, упругостью водяного пара, температурой, количеством нижней облачности и показателем состояния почвы (лето)

16. Выводы о характере зависимости концентрации легких и тяжелых ионов (n_2, N_2) от метеорологических элементов, полученные по всему материалу в целом, подтверждаются результатами более детального анализа, при котором данные были сгруппированы в зависимости от направления ветра (по 8 румбам и штилю) и для каждой группы в отдельности производилось сопоставление значений n_2 с семью, а значение N_2 — с двумя метеорологическими элементами. Полученные соотношения подтверждаются также анализом данных непрерывной регистрации положительных средних ионов (проводившейся в 1962 г. ежемесячно в течение 4 суток). Согласованность результатов, полученных различными методами, указывает на достоверность связей, основанных на статистических средних. По имеющимся данным, подобные детальные анализы сделаны впервые для г. Тарту в настоящей работе. Корреляционные связи между концентрациями различных групп ионов и метеорологическими элементами дают принципиальную возможность на основе всего комплекса метеорологических элементов оценить по данным наблюдений метеорологических станций средние значения концентрации ионов для отдельных типов погоды.

17. Вследствие важности комплексных характеристик для гигиенических работ автором предложена рациональная схема типизации погоды, имеющей место в условиях Эстонской ССР. Основными категориями для выбора типа служат общая барическая характеристика и относительная продолжительность солнечного сияния. При типе погоды 4 (приближение циклона) наблюдалась пониженная концентрация легких ионов (n_2), а наиболее высокие значения за весь период измерений отмечались при самом солнечном типе 3 ($s > 0,6$). Типы 1, 2, 3 связаны с повышенной, а типы 4 и 5 с пониженной концентрацией тяжелых ионов (N_2).

18. Полученные результаты подтверждают важность комплексных гигиенических исследований, так как биологическое влияние атмосферной ионизации нельзя изучать изолированно от других климатических факторов. По статистике 1960—1963 гг. в г. Тарту смертность и заболеваемость понижаются в летние месяцы при большей продолжительности солнечного сияния и повышенной концентрации легких ионов.

19. Ионизационные характеристики атмосферы достаточно резко изменяются в зависимости от степени загрязнения воздуха. Данные о стабильности параметра $M = nN$ в течение 3 лет, 1951, 1961 и 1962 гг., подтверждают возможность использования концентрации тяжелых ионов (N_2) в качестве показателя загрязнения воздуха ($c = \frac{N}{n} = \frac{N_2}{M}$), а легких ионов (n_2) — в качестве показателя чистоты воздуха ($c = \frac{N}{n} = \frac{M}{n^2}$)

20. Значительные колебания загрязненности воздуха возможны даже в небольших городах без крупных промышленных объектов (типа г. Тарту), поэтому сравнительно хорошие средние гигиенические условия не могут служить основанием для исключения из плана гигиенических мероприятий. Продолжительность и частота нарушений нормальных условий в г. Тарту меняются в широких пределах — от целого сезона (холодная зима 1951 г.), когда концентрация тяжелых ионов была значительно повышена, вероятно, в связи с усиленной топкой печей, до отдельных дней и часов. Концентрация тяжелых ионов повышена при юго-восточном ветре, дующем со стороны густонаселенного района города, а понижена при ветре, дующем со стороны парка Тоомемаги; в последнем случае концентрация легких ионов сильно повышена.

21. В городских условиях воздух загрязняется меньше всего ночью. Концентрация тяжелых ионов N_2 , измеренная в г. Тарту в 1 час, мало изменялась в течение всего года и из года в год (колеблясь в пределах от 2000 до 3000 $см^{-3}$) и может поэтому считаться типичной для малозагрязненного естественного воздуха. Одним из показателей загрязнения городского воздуха является отношение суммы концентрации тяжелых ионов N_2 , измеренных днем (в 7, 13 и 19 часов), к сумме базисной концентрации N_2 ионов обоих знаков, измеренных в 1 час ночи. Аналогичный показатель чистоты воздуха может быть вычислен также по соотношению суммы концентраций легких (n_2) ионов.

22. Для обеспечения гигиеничности (чистоты) воздуха городов отопление всех домов в центре города необходимо проводить от больших теплоцентралей, высокие трубы которых снабжены электростатическими фильтрами. Необходимость равномерного размещения парков и скверов при планировке новых городов и районов подтверждается их благоприятным влиянием на чистоту воздуха.

23. В ежедневные прогнозы, сообщаемые Гидрометеослужбой, следует включить предупреждение о вероятности больших изменений атмосферного давления (2,5 и более мб за 6 часов) для медицинской профилактики в клиниках и санаториях.

24. При проводимых в курортологии и медицине исследованиях влияния климата на человека (для профилактики и терапии) нужно учитывать, кроме метеорологических элементов, также ионизацию атмосферы, атмосферно-электрические явления (атмосферики) и атмосферные аэрозоли (ядра).

25. Работа медиков ТГУ с аппаратурой, сконструированной физиками ТГУ, показала благоприятное действие отрицательных аэроионов и электроаэрозолей на живой организм, что оправдывает применение их для лечебных целей. Основательно необходимо изучать еще механизм биологического действия электрических зарядов.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Годовой ход ежемесячных средних концентраций ионов (см⁻³).
Молионы (n₁), легкие (n₂, n₃) и средние ионы (n₄),
измеренные с VIII 1960 по VII 1963 г.

Время	Концентрация ионов (см ⁻³)											
	k ≥ 2,5		k ≥ 1,0		q ₁ = $\frac{n_1^+}{n_1^-}$	k ≥ 0,5		k ≥ 0,1		q ₂ = $\frac{n_2^+}{n_2^-}$	k ≥ 0,05	
	n ₀ ⁺	n ₀ ⁻	n ₁ ⁺	n ₁ ⁻		n ₃ ⁺	n ₃ ⁻	n ₂ ⁺	n ₂ ⁻		n ₄ ⁺	n ₄ ⁻
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1960												
VIII	180	160	300	270	1,11	390	330	520	410	1,27	590	500
IX	140	130	290	240	1,21	390	310	510	420	1,21	610	510
X	110	120	250	230	1,09	340	280	470	410	1,15	560	480
XI	110	120	210	200	1,05	290	240	390	340	1,15	470	400
XII	130	130	260	230	1,13	340	280	430	370	1,16	530	430
1960												
VIII—XII	130	130	260	230	1,13	350	290	460	390	1,18	550	470
1960												
Число измерений	312	332	332	333	—	333	332	333	331	—	326	326
Число измерений в 1960 г.: n ⁺ =1636, n ⁻ =1654												
1961												
I	120	110	220	190	1,16	300	220	400	330	1,21	490	410
II	110	120	220	210	1,05	290	240	400	350	1,14	490	420
III	140	150	290	270	1,07	380	330	530	490	1,08	610	570
IV	140	120	280	230	1,22	370	290	570	520	1,10	670	620
1960/61												
Холодн. п. г.	120	130	250	220	1,14	330	260	450	390	1,15	540	470
1961												
V	160	180	320	310	1,03	450	400	650	600	1,08	740	690
VI	180	190	380	340	1,12	520	440	640	580	1,10	740	670
VII	130	140	270	240	1,12	360	320	500	450	1,11	590	530
VIII	150	160	320	300	1,07	420	350	560	490	1,14	660	590
IX	140	150	290	260	1,12	390	310	510	450	1,13	570	520
X	120	110	250	200	1,25	320	250	460	390	1,15	560	490
1961												
Тепл. п. г.	150	150	310	270	1,15	410	350	550	500	1,10	650	580

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1961												
XI	160	140	310	260	1,19	400	310	530	430	1,23	570	500
XII	140	140	290	260	1,12	380	320	500	450	1,11	590	550
1961	140	140	290	250	1,16	380	320	520	460	1,13	610	550
1961 Число изм.	805	817	819	814	—	820	811	810	808	—	816	808

Число измерений в 1961 г.: $n^+ = 4070$, $n^- = 4058$

1962												
I	130	150	270	250	1,08	350	300	480	420	1,14	550	510
II	110	140	230	210	1,10	310	260	480	420	1,14	580	510
III	80	110	170	160	1,06	230	210	450	430	1,05	620	590
IV	170	200	290	280	1,04	310	300	670	630	1,06	810	760

1961/62 Холодн. п. г.	130	150	260	240	1,08	330	280	520	460	1,13	620	570
-----------------------------	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----

1962												
V	170	210	330	320	1,03	390	350	690	610	1,13	830	750
VI	210	210	440	370	1,19	560	460	710	660	1,07	750	750
VII	150	170	370	310	1,19	500	360	610	520	1,17	700	660
VIII	200	170	410	300	1,37	490	370	610	540	1,13	680	650
XI	150	170	300	260	1,15	390	310	540	480	1,12	640	610
X	150	150	320	270	1,18	400	310	550	450	1,22	630	540

1962 Тепл. п. г.	170	180	360	300	1,20	450	360	620	540	1,15	710	660
------------------------	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----

1962												
XI	130	140	210	190	1,11	310	280	430	380	1,13	530	480
XII	130	160	280	240	1,17	360	360	500	420	1,19	600	520

1962	150	170	300	260	1,15	380	320	560	500	1,12	660	610
------	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----

1962 Число изм.	769	795	781	795	—	773	787	793	798	—	788	788
--------------------	-----	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	---	-----	-----

Число измерений в 1962 г.: $n^+ = 3904$, $n^- = 3963$

1963												
I	110	160	200	200	1,00	320	270	510	460	1,11	650	610
II	120	150	210	180	1,17	270	230	450	400	1,13	610	570
III	120	160	210	200	1,05	280	240	500	480	1,04	690	650
IV	120	140	220	190	1,16	300	260	520	460	1,13	690	630

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1962/63 Холодн. п. г.	120	150	220	200	1,10	300	260	490	440	1,11	640	590
1963 V	160	200	330	310	1,06	430	380	610	570	1,05	800	640
VI	250	290	530	490	1,08	680	580	860	770	1,12	970	880
VII	220	260	440	410	1,07	560	480	720	650	1,11	800	740
1963 I—VII	160	200	310	280	1,11	400	350	600	540	1,11	740	640
1963 Число изм.	842	851	849	850	—	848	844	857	849	—	832	824

Число измерений всего в 1963 г.: $n^+ = 4228$, $n^- = 4218$

Таблица 2

Годовой ход ежемесячных средних концентраций ионов (см^{-3}).
Тяжелые (N_2) и полутяжелые и средние (N_1) и средние (N_0) ионы,
измеренные с VIII 1960 по XII 1962 г.

Время	Концентрация ионов (см^{-3})							
	$0,1 > k \geq 0,01$		$0,1 > k \geq 0,001$		$Q_1 = \frac{N_1^+}{N_1^-}$	$0,1 > k \geq 0,00025$		$Q_2 = \frac{N_2^+}{N_2^-}$
	N_0^+	N_0^-	N_1^+	N_1^-		N_2^+	N_2^-	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1960 VIII	530	650	2210	2230	0,99	4490	5040	0,89
IX	550	700	2580	2570	1,0	4480	4640	0,97
X	470	620	2660	2890	0,92	4850	5090	0,95
XI	780	720	3170	2800	1,13	5710	5130	1,11
XII	450	510	2580	2610	0,99	5440	5170	1,05
1960	560	640	2650	2640	1,0	5010	5020	1,02
1960 Число изм.	342	334	335	323	—	334	327	—

Число измерений в 1960 г. $n^+ = 1011$, $n^- = 984$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1961								
I	550	600	3240	3170	1,02	5900	5900	1,00
II	470	530	2750	2440	1,13	5180	5130	1,01
III	520	580	2290	2410	0,95	4190	4270	0,98
IV	620	660	3220	3240	0,99	5130	5440	0,94
1960/61 Холодн. п. г.	560	600	2870	2760	1,04	5250	5170	1,02
1961								
V	550	760	2740	2810	0,98	4370	4860	0,90
VI	540	730	2110	2300	0,92	4060	4490	0,91
VII	880	840	1950	1820	1,07	3310	3270	1,01
VIII	420	470	1670	1460	1,14	2910	2940	0,99
IX	590	650	2160	2140	1,01	2960	2940	1,01
X	580	580	2110	1970	1,07	3280	3280	1,00
1961 Тепл. п. г.	590	670	2120	2080	1,02	3510	3660	0,96
1961								
XI	400	480	1620	1760	0,92	3060	3050	1,01
XII	650	610	2600	2750	0,95	5410	5280	1,03
1961	570	620	2390	2360	1,01	4190	4280	0,98
1961 Число изм.	833	827	813	807	—	796	807	—

Число измерений в 1961 г.: $n^+ = 2442$, $n^- = 2441$

1962								
I	450	530	2100	2150	0,98	4690	4290	1,09
II	560	700	2690	2430	1,11	4780	4560	1,05
III	790	860	3660	3690	0,99	6930	7020	0,99
IV	800	790	2720	2740	0,99	4630	4370	1,06
1961/62 Холодн. п. г.	600	660	2590	2580	1,0	4920	4780	1,03
1962								
V	610	600	2070	2150	0,96	3670	3640	1,01
VI	490	420	1290	1160	1,11	3420	3160	1,08
VII	470	480	1680	1500	1,12	2990	2660	1,12
VIII	420	400	1410	1380	1,02	3880	3590	1,08
IX	580	550	2310	2070	1,11	3580	3440	1,04
X	630	580	2470	2350	1,05	4440	4270	1,04
1962 Тепл. п. г.	530	500	1870	1760	1,06	3670	3460	1,05

	1	2	3	4	5	6	7	8
1962 XI	670	640	3870	3720	1,03	7790	7810	1,01
XII	530	570	2600	2370	1,11	4900	4260	1,15
1962	580	590	2400	2300	1,04	4630	4410	1,05
1962 Число изм.	703	708	707	706	—	698	685	—
Число измерений в 1962 г.: $n^+ = 2168$, $n^- = 2099$								

Таблица 3

**Спектры α -молионов и β -промежуточных ионов.
Среднемесячные концентрации и подвижности с VIII 1960 по XII 1962 г.**

Время	Концентрации (см^{-3})						Подвижности, $\text{см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$			
	n_{α}^+	n_{α}^-	n_{β}^+	n_{β}^-	$n_{\alpha}^+ + n_{\beta}^+$	$n_{\alpha}^- + n_{\beta}^-$	k_{α}^+	k_{α}^-	k_{β}^+	k_{β}^-
1960 VIII	220	210	170	120	390	330	1,89	1,63	0,33	0,76
IX	180	190	—	—	180	190	1,46	1,80	0,32	0,30
X	170	190	200	140	370	330	0,94	1,51	0,27	0,29
XI	140	160	150	100	290	260	1,47	2,20	0,53	0,35
XII	180	180	170	120	350	300	1,27	1,37	0,46	0,44
1960 VIII—XII	180	190	130	100	310	290	1,37	1,71	0,38	0,41
1961 I	150	190	170	100	320	290	1,68	1,82	0,34	0,37
II	150	160	140	130	290	290	1,46	1,76	0,41	0,30
III	200	190	250	240	450	430	1,36	1,90	0,32	0,28
IV	200	170	270	180	470	350	1,43	1,49	0,31	0,31
1960/61 Холодн. п. г.	170	180	190	140	360	320	1,45	1,78	0,40	0,34
1961 VI	190	220	360	310	550	530	1,76	1,97	0,38	0,36
VII	250	260	310	290	560	550	1,27	1,87	0,42	0,36
VIII	140	140	190	160	330	300	1,70	1,49	0,40	0,41
IX	250	240	240	160	490	400	1,08	1,51	0,36	0,24
X	200	190	230	180	430	370	1,26	1,58	0,38	0,22
XI	170	160	180	140	350	300	1,32	1,60	0,42	0,25

Время	Концентрации (см ⁻³)						Подвижности см ² /сек в			
	n _α ⁺	n _α ⁻	n _β ⁺	n _β ⁻	n _α ⁺ + n _β ⁺	n _α ⁻ + n _β ⁻	k _α ⁺	k _α ⁻	k _β ⁺	k _β ⁻
1961 Тепл. п. г.	200	200	250	200	450	400	1,42	1,67	0,39	0,30
XI	220	200	260	190	480	390	1,51	1,74	0,35	0,41
XII	190	190	240	170	430	360	1,43	1,73	0,40	0,26
1961	190	190	240	180	430	370	1,49	1,74	0,38	0,31
1962										
I	190	210	220	130	410	340	1,31	1,79	0,35	0,45
II	140	180	230	170	370	350	1,38	2,06	0,39	0,29
III	90	110	190	160	280	270	1,25	2,26	0,27	0,15
IV	260	250	280	230	540	480	1,51	2,10	0,01	0,06
1961/62 Холодн. п. г.	180	190	240	180	420	370	1,43	2,01	0,35	0,27
V	280	280	270	210	550	490	1,35	1,94	0,13	0,15
VI	340	270	370	280	710	550	1,44	1,90	0,32	0,31
VII	270	240	280	140	550	380	1,11	1,63	0,34	0,37
VIII	330	220	210	230	540	450	1,36	1,88	0,34	0,26
IX	220	190	220	150	440	340	1,35	1,73	0,24	0,47
X	250	210	210	160	460	370	1,21	1,70	0,62	0,13
1962 Тепл. п. г.	280	240	260	190	540	430	1,31	1,80	0,33	0,31
XI	120	120	230	160	350	280	1,57	2,79	0,26	0,15
XII	200	130	210	200	410	330	1,37	2,16	0,19	0,58
1962	220	200	240	180	460	380	1,32	1,99	0,31	0,38
1961 и 1962 Среднее	205	195	240	180	445	375	1,41	1,87	0,35	0,35

ЛИТЕРАТУРА

1. Биометеорология. Избранные труды II международного биоклиматологического конгресса (Лондон, 1960 г.). Л., Гидрометеиздат, 1965.
2. Брукс, К., Карузерс, Н., 1963. Применение статистических методов в метеорологии. Л., Гидрометеиздат.
3. Васильев, Л. Л., 1953. Теория и практика лечения ионизированным воздухом, изд. II Л., изд-во Ленингр. ун-та.
4. Вопросы климатопатологии в клинике сердечно-сосудистых заболеваний. Под ред. Г. М. Данишевского. М. Медгиз, 1961.
5. Деляну, М., 1960. Ионизация как показатель интенсивности загрязнения атмосферного воздуха и зонирования промышленных центров. — «Гигиена и санитария», 10, 42—46.
6. Климат и сердечно-сосудистая патология. Труды II научной конф. Ин-та терапии АМН СССР по вопросам климатопатологии сердечно-сосудистых заболеваний. Под ред. Г. М. Данишевского. Л., Медицина, 1965.
7. Койранский, Б. Б., 1965. К вопросу о гигиеническом значении ионизации воздуха приземных слоев атмосферы. Второе научн. совещ. по пробл. мед. географии. Л., 73—74.
8. Кондратьев, К. А., 1954. Лучистая энергия солнца. Л.
9. Марран, Х., 1958. Об исследовании связей между плотностью атмосферных ионов и метеорологическими элементами (на эст. яз., резюме на русск. яз.). Уч. зап. ТГУ, 59, 108—136.
10. Махонько, К. П., 1963. О характере спектра размеров частиц радиоактивной пыли естественного происхождения. — Изв. АН СССР, сер. геофиз. 1, 183—187.
11. Махоткин, Л. Г., Сушинский, Б. Л. 1960. Плотность объемного заряда в Сестрорецке. Тр. Гл. геофиз. обсерв., 110, 33—39.
12. Махоткин, Л. Г., 1963. Электрические факторы чистоты воздуха. Тр. Гл. геофиз. обсерв., 146, 48—52.
13. Минх, А. А., 1963. Ионизация воздуха и ее гигиеническое значение, изд. 2. М., Медгиз.
14. Пастух, Н. В., 1968. Некоторые результаты измерения концентрации ядер конденсации в естественных условиях. Тр. Гл. геофиз. обсерв. 207, 104—109.
15. Портнов, Ф. Г., 1961. Медицинская характеристика климата Рижского взморья. Тр. ин-та Экспериментальной медицины. — «Вопросы курортологии», Рига, 6, 97—107.
16. Прюллер, П. К., Сакс, О. В., Рийв, Я. Я., 1963а. Ионизация атмосферы и метеорологические факторы гор. Тарту (ЭССР) с августа 1960 г. по декабрь 1962 г. и их гигиеническое значение. — Материалы научн. конф. по пробл.: «Аэроионизация в гигиене труда». Л., 116—117.
17. Прюллер, П. К., Рейнет, Я. Ю., Сакс, О. В., 1963б. Краткий обзор исследовательской работы в области аэроионизации и электроаэрозоль в Тартуском государственном университете. — Тр. Ленингр. общества естествоиспытателей. Изд-во Ленингр. ун-та. Л., 74, 1. 97—100.
18. Прюллер, П. К., Рийв, Я. Я., 1963в. О влиянии аэроионизации и других метеорологических факторов на заболеваемость. — Тезисы докл. 6 респ. научн. конф. по курортологии и физиотерапии в Пярну. Таллин, 47—48.
19. Прюллер, П., Рийв, Я., 1963 г. О связях ионизации атмосферы и других метеорологических факторов с заболеваемостью и смертностью. Уч. зап. ТГУ, 134, 50.
20. Прюллер, П., Рийв, Я., 1965. Медицинское значение метеорологических элементов и типов погоды. Уч. зап. ТГУ, 178, 27—35.
21. Прюллер, П., 1966 а. Ионизация атмосферного воздуха и ее гигиеническое и курортологическое значение. Материалы 7 Эстонской республиканской научн. конф. по курортологии и физиотерапии. Пярну, 145—148.

22. Прюллер, П. К. Сакс, О. В., Рийв, Я. Я., 1966 б. Ионизация атмосферы и метеорологические элементы в г. Тарту с августа 1960 г. по июль 1963 г. и их гигиеническое значение. В сб.: «Аэроионизация в гигиене труда». Л., 195—198.

23. Райк, А., 1963. О применении косвенной характеристики радиационного режима при типизации погод. Уч. зап. ТГУ, 144, 23—32.

24. Рейнет, Я. Ю., 1955. Комбинированный счетчик атмосферных ионов. — АН СССР, Ин-т технико-экономической информации, М., тема 4, № ПС-55-409, 1—17.

25. Рейнет, Я. Ю. 1956. Комбинированный счетчик атмосферных ионов. Тр. Гл. геофиз. обсерв., 58 (120), 23—30.

26. Рейнет, Я. Ю., 1958. Об изменениях ионизации атмосферы в г. Тарту. — Автореф. канд. физ-мат. наук, Тарту. (ТГУ). Библ. 16 назв.

27. Рейнет, Я., 1958. Об изменениях ионизации атмосферы в г. Тарту в течение годовичного периода (на эст. яз., резюме на русск. яз.). Уч. зап. ТГУ, 59, 71—103.

28. Рейнет, Я., 1959. Характеристики плотностей легких ионов (на эст. яз., резюме на русск. яз.). — «Лоодус я матемаатика» (Природа и математика). Таллин, 1, 93—122.

29. Рейнет, Я. Ю., Прюллер, П. К., Сакс, О. В., 1963. О научно-исследовательских работах в области естественной и искусственной аэроионизации и электроаэрозолей в Тартуском государственном университете. Уч. зап. ТГУ. 140, 3—15.

30. Сакс, О., 1956. Автоматически действующий фотографический счетчик ионов (на эст. яз., резюме на русск. яз.). Уч. зап. ТГУ. 42, 84—93.

31. Сакс, О. В., 1963. О конструкции динамического конденсатора для счетчиков атмосферных ионов. Тр. всес. научн. метеорологического совещания, т. 9. Л., Гидрометеиздат, 303—306.

32. Селезнева, Е. С., 1966. Атмосферные аэрозоли (ядра конденсации) Л., Гидрометеиздат.

33. Сийрде, Э. К., 1966. О трудах по аэроионизации, аэрозолям и электроаэрозолям, выполненных на медицинском факультете ТГУ В сб.: «Итоги научной работы по медицине в Тартуском гос. университете за 1940—1965 гг.» — Уч. зап. ТГУ. 191, 234—251. Библ. 76 назв.

34. Стыро, Б. И., 1959. Вопросы ядерной метеорологии. Вильнюс. АН Лит. ССР.

35. Таммет, Х. Ф., 1967. Аспирационный метод измерения спектра аэроионов. Уч. зап. ТГУ, 195.

36. Тверской, П. Н., 1949. Атмосферное электричество. Л., Гидрометеиздат.

37. Тверской, П. Н., 1962. Курс метеорологии (физика атмосферы). Л., Гидрометеиздат.

38. Фукс, Н. А., 1955. Механика аэрозолей. М., изд-во АН СССР.

39. Фукс, Н. А., 1964. О стационарном распределении зарядов аэрозольных частиц в биполярно ионизированной атмосфере. Изв. АН СССР, сер. геофиз., 4, 579—586.

40. Холодов, Ю. А., 1966. Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему. М., изд-во «Наука».

41. Цванг, Л. Р., Комаров, Н. Н., 1959. Исследование спектра легких ионов в свободной атмосфере. Изв. АН СССР, сер. геофиз., 8, 1167—1176.

42. Циماхович, Н. П., 1967. Солнце — великий дирижер. Вместо чисел Вольфа — радиопоток. В сб. «Солнечная активность и жизнь». Рига-изд-во «Зинатне», стр. 25—52, 65—69.

43. Цимахович, Н. П., 1968. Большие радиовсплески Солнца. Рига, изд-во «Зинатне».

44. Чубуков, Л. А., 1949. Комплексная климатология. М., изд. АН СССР.

45. Шварева, Ю. Н., 1963. К вопросу о радиационной характеристике важнейших классов местной погоды. В кн.: Вопросы комплексной климатологии, изд. АН СССР, ин-т геогр. М., 49—56.

46. Шмидт, А., 1951. Классификация типов погоды для медицинской оценки атмосферной среды. В кн.: Изыскание и использование курортных ресурсов. Л.
47. Юнге, Х., 1965. Химический состав и радиоактивность атмосферы. Перевод с англ. М., изд-во «Мир».
48. Assmann, D., 1963. Die Wetterfühligkeit des Menschen. Jena, VEB, Gustav Fischer Verlag.
49. Brezowsky, H., 1965. Die Abhängigkeit des Herzinfarkts von Klima, Wetter und Jahreszeit. Arch. d. Kreislaufforsch., 47, 159—188.
50. Davis, I. A., 1960. A correlation analysis of the relationship between weather variables and atmospheric radioactivity. Health Physics, 4, 55—61.
51. Gadomski, J., 1964. Wptyw falloutu na elementy elektrycznksol atmosferycznej w Swidrze. Przegląd Geofizyczny, 9, (17), 3—4, 227—242.
52. Israel, H., 1947. Atmosphärische Elektrizität, T. I., Leipzig, Akad. V-G. Geest & Portig K. G.
53. Israel, H., 1958 a. The atmospheric electric agitation. — Recent Advances in Atmospheric electricity. Proc. sec. conf. atmosph. electricity. Pergamon Press, p. 149—160.
54. Israel, H., 1958 b. Die luftelektrische Unruhe. — Z. Geophysik, 24, 277—283.
55. Israel, H., 1958c. Recherches récentes en électricité atmosphérique. Mesures pendant l'Année Geophysique Internationale. La Météorologie, IV 51—58. 161—190.
56. Israel, H., 1961. Atmosphärische Elektrizität, I, II, Leipzig, Akad. V-G. Geest & Portig K. G.
57. Junge, Chr., 1955. The size distribution and aging of natural aerosols as determined from electrical and optical data on the atmosphere. J. Meteorology, 12, 1, 13—25.
58. Kornblueh, I. H., 1960. Electric space charges and human health. Bull. Amer. Meteorol. Society, 41, 7, 361—367.
59. McDonald, I. E., 1960. Remarks on correlation methods in geophysics. Tellus, 12, 2, 176—183.
60. Misaki, M., 1961. Studies on the atmospheric ion spectrum I and II. Papers Meteorol. and Geophys., 3—4, 247—260, 261—276.
61. Misaki, M., Kanazawa, J., 1968. Some features of dynamic spectra of atmospheric ions. Tokio.
62. Prüller, P., Reinet, J., 1966. Long-term investigations of atmospheric ionisation in Tartu, Estonian SSR. Int. J. Biometeorology, 10, 2, 127—133.
63. Reiter, R., 1960. Meteorobiologie und Elektrizität der Atmosphäre. Leipzig. Akad. V-G. Geest & Portig K-G.
64. Sheppard, P. A., 1932. Character of atmospheric ionisation. — Nature, 129, 169.
65. Siksna, R., 1952. Measurements of large ions in the atmospheric air at Uppsala. Arkiv geofys., 1, 18, 483—518.
66. Siksna, R., 1953. Mobility of small atmospheric ions in the air from the ground at Uppsala. J. Atmos. and Terr. Phys., 4, 106—111.
67. Simon, A., 1966. A közepes-es nagy-jonok koncentrációja. Időjárás, 70, 2, 100—105.
68. Ungeheuer, H., 1955. Ein meteorologischer Beitrag zu Grundproblemen der Medizin-Meteorologie. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 3, 16, 1—32.
69. Yunker, E. A., 1940. The mobility-spectrum of atmospheric ions. Terr. Magn. and Atmos. Electricity, 45, 2, 127—132.
70. Zink, O., Kuhnke, W., 1952. Die biologische Bedeutung der langwelligen Hochfrequenzstrahlung der Atmosphäre. Schweiz. med. Wocheschr., 82, 45, 1168—1172.

Поступила 1/III 1969 г.

ATMOSFÄÄRI-IOONIDE SPEKTRITE UURIMUS, ATMO- SFÄÄRI-IONISATSIOONI HÜGIEENILINE JA BIO- METEOROLOOGILINE TÄHENDUS MÕOTMISTE ANDMEIL TARTUS

P. Prüller

Resümee

Atmosfääri-ionisatsiooni süstemaatilised mõõtmised tehti VIII 1960. — VII 1963. a. 4—8 korda ööpäevas Tartu Riikliku Ülikooli peahoones (linna keskel) ülesseatud ionide kombineeritud loenduriga [Reinet, 1955, 1956], millele autori ja O. Saksa poolt kohandati automaatne fotoregistraator, dünaamiline elektromeeter ja isekirjutaja [Saks, 1956, 1963]. Atmosfääri-ionisatsiooni uurimiseks tehti 3 aastat kergete ionide 5 rühma (joon. 1) kohta 27 731 mõõtmist ja 29 kuud raskete ionide 3 rühma (joon. 3) kohta 11 085 mõõtmist. 1962.—1963. a. teostati esmakordselt NSV Liidus 1560 tunni kestel positiivsete keskmiste ionide ($k \geq 0,02 \text{ cm}^2/\text{s V}$) pidev registreerimine (joon. 7—11) Atmosfääri-ionisatsiooni mõõtmiste koguarv on 40 376.

Meteoroloogilised andmed (joon. 2) saadi: (a) ENSV TA FAI aktinomeetria laboratooriumilt (kaugus 3,5 km); (b) ENSV Hüdro-meteoroloogia teenistuse Tartu jaamalt (kaugus 8,5 km); (c) meteoroloogiajaamalt TRÜ peahoones. Nende jaamade andmete ühtimine näitab, et Tartu linna meteoroloogiat kirjeldab hästi jaam (a) või (b) Korrelatsiooni arvutused tehti TRÜ elektronarvutil «Ural-4».

Järeldused

1. Atmosfääri primaarsete ionide nn. molioonide (n_1 , liikuvus $k \geq 1,0 \text{ cm}^2/\text{s V}$) ja kergete ionide (n_2 , $k \geq 0,1 \text{ cm}^2/\text{s V}$) kuu keskmiste kontsentratsioonide aastases käigus on miinimum talvekuudel (I—III), kui radooni väljumine maapinna külmumise ja lumekatte tõttu on takistatud ja maksimum kevad- ja suvekuudel (V, VI), kui rõhu tõusvad püstvoolud viivad radooni kõrgele (joon. 1). Vaatlusperioodil kergete ionide kontsentratsioonide maksimum juunikuul 1963 a. $n^+ = 860 \text{ cm}^{-3}$ ühtib päevase päikesepaiste kestuse maksimumiga 12,3 tundi. Keskmiste (N_0 , $0,1 > k \geq 0,01 \text{ cm}^2/\text{s V}$), poolraskete (N_1 , $0,1 > k \geq 0,001 \text{ cm}^2/\text{s V}$) ja raskete (N_2 , $0,1 > k \geq 0,00025 \text{ cm}^2/\text{s V}$) ionide kuukeskmiste kontsentratsioonide aastane käik (joon. 3) on vastasfaasis kergete ionide aastase käiguga (joon. 1)

10 aasta (1951. kuni 1961.—62. a.) kestel on Tartus kasvanud molioonide (n_1) kontsentratsioonid umbes 20% ja kergete ionide (n_2) kontsentratsioonid ei ole muutunud, aga raskete ionide kontsentratsioonid on vähenenud ligi 20% (tab. 1, joon. 4)

2. Kergeete ionide kontsentratsioonide (n_2) aastane käik on sama-faasis päevase päikesepaiste kestusega (A), temperatuuriga (t) ja nähtavusega (V) ning vastasfaasis relatiiivse niiskusega (r) ja maapinna seisundi näitarvuga (E , 0 — kuiv, 1, 2 — märg, 3 — külmunud jne.) ning raskete ionide kontsentratsiooniga (N_2) (joon. 2).
3. Kergeete ionide (n_2) ja molioonide (n_1) kontsentratsioonide ööpäevases käigus on külmal ja soojal poolaastal peamaksimum kell 1 öösel, peamiinimum kell 7 hommikul, osamaksimum kell 13 keskpäeval ja osamiinimum kell 19 õhtul (kohalik aeg). Raskete (N_2) ja poolraskete (N_1) ionide kontsentratsioonide ööpäevane käik on vastasfaasis kergeete ionide (n_2) ja molioonide (n_1) kontsentratsioonide käiguga (joon. 5).
4. Kergeete ionide unipolaarsuse kordaja on 1,1 kuni 1,2 ja raske- tel ionidel umbes 1,0.
5. Et saada molioonide (n_1) ja kergeete ionide (n_2) tõelisi kontsentratsioone n_α ja $n_{\alpha+\beta}$ (ilma raskete ionide juhtivusvooluta), kasutati esmakordselt ulatuslikult arvulist meetodit [Tammets, 1967] (tab. 2, val. 1—4), Vähe saastatud atmosfääri tingimustes on α -rühma (molioonid) ionide tõelised kontsentratsioonid n_α 20—30% madalamad kui n_1 ; $\alpha+\beta$ rühma (kerged ionid) kontsentratsioonid $n_{\alpha+\beta}$ on 20% madalamad kui n_2 (tab. 3. joon. 6). Ioonide spektrite arvutused kinnitavad vahepealsete β -rühma ionide ($1,0 > k \geq 0,1$ cm²/s V) olemasolu, mille tõelised kontsentratsioonid 1961 ja 1962 a. olid $n_\beta^+ = 240$ cm⁻³ ja $n_\beta^- = 180$ cm⁻³ (tab. 3). Positiivsete ionide kuukeskmised liikuvused on võrdsed (β -rühm) või väiksemad (α -rühm) negatiivsete ionide liikuvusest (joon. 7—1).
6. Sama õhukanali õhu positiivsete keskmiste ionide ($k \geq 0,02$ cm²/s V) kontsentratsioonide mõõtmised isekirjutajaga varustatud kahe loenduriga näitavad, et kahe erineva loenduriga saadud kõveratel (keskmised 10 minuti vahemikus) on sama keskmise tase, sama kvaasisagedus (kõvera pöördepunktide ehk lokaalsete ekstreemumite arv tunnis) $f=1$ kuni 5 tund⁻¹ ja sama suhteline amplituud (joon. 7—2). Pilvisuse kiirel kahanemisel ja nähtavuse kasvul või vastupidi esineb kahe loenduriga mõõdetud kõverate puhul suur sünkroonne tõus või langus (joon. 8—3 ja 4). Sellest järeldub, et atmosfääri alumistes kihtides ionid ei ole jaotunud ühtlaselt, s. o. võrdsetes õhu mikroruumalades ionide kontsentratsioonid ei ole võrdsed.
7. Positiivsete keskmiste ionide ($k \geq 0,02$ cm²/s V) kontsentratsioonide mõõtmised 10 päeva jooksul augustis 1963. a. (joon. 9—11) kahe loenduri abil (TRÜ peahoones ja sellest 3,5 km kaugusel FAI aktinomeetria laboratooriumi paviljonis) näitasid, et külma frondi ja kauge äikese (joon. 10—3, kl. 16—24), sooja frondi (joon. 11—1, kl. 2) või oklusiooni frondi (joon. 11—3, kl. 2) läbimisel Tartust esinesid, viimasel kahel juhul ka kogu ööpäev ligi-

kaudu võrdsete amplituudidega ($n_a=0,1-0,5$) ja sagedustega ($f=2-4$ tund⁻¹) ionide kontsentratsioonide võnkumised. Mõõtmistel linnas ja maal olid 10 päeva keskmised kontsentratsioonid võrdsed, $n=950$ cm⁻³

8. Eelnevas p. 6 ja 7 kirjeldatud mõõtmiste tulemused lubavad järeldada, et TRÜ peahoones statsionaarse loenduriga tehtud süstemaatilised ionide kontsentratsioonide mõõtmised (joon. 1 ja 3) soojal poolaastal (V—X) täielikult representeerivad ionisatsiooni looduslikku taset ja selle võnkumisi. Külmal poolaastal (XI—IV) karakteriseerivad ionisatsiooni looduslikku taset mõõtmised kell 1 öösel (joon. 21 ja 22)

9. Seosed ionide kontsentratsioonide ja meteoroloogiliste elementide vahel on enamikul juhtudel kaudsed. 1960.—1962. a. mõõtmiste põhjal on elektronarvutil välja arvatud 88 lineaarse korrelatsiooni kordajat 11 meteoroloogilisele elemendile ja 16 hinnangut ionide kontsentratsioonide olenevuse kohta sõltuvalt tuule suunast eri ilmakaartest (joon. 12) 45. korrelatsioonikordaja absoluutväärtused on rajades 0,11 kuni 0,35, s. o. üle usaldatavuse läve 0,11 (tab. 4)

Kergeate ionide kontsentratsioonid (n_2) märgatavalt korreleeruvad järgmiste meteoroloogiliste elementidega: positiivselt V, S_c, t (talv) ja v, negatiivselt r, \equiv n_L (talv), e (suvi) ja E, aga rasked ionid: positiivselt p, \equiv (suvi) ja E (talv) ja negatiivselt v, e, t, n_L, E (suvi) (tab. 4, joon. 14—17) Suurima arvu keskküttekorstnatega linnaosast, kagu (SE) suunast puhuvate tuulte puhul on raskete ionide kontsentratsioonid (N_2) kõrged ja kergeate ionide (n_2) omad madalad, lehtpuurikka Toomemäe, lääne (W) suunast puhuvate tuulte puhul on olukord vastupidine (joon. 13 ja 14).

10. Autori poolt kahe korrelatsioonikordajate rea võrdlemiseks defineeritud alternatiivsuse kordaja A (val. 5) rakendamine näitab, et (a) seosed meteoroloogiliste elementide ja raskete ionide kontsentratsioonide vahel on stabiilsemad vastavatest seostest kergeate ionide puhul (tab. 5); (b) kergeate ja raskete ionide liikuvuste rajaks on $k=0,5$ cm²/s V mida kinnitavad ka teised hinnangud ja mõõtmised (tab. 6).

11. Aerosoolide kontsentratsioonide arvutused Tartus raskete ionide kontsentratsioonide (N_2) mõõtmiste põhjal (val. 6) on heas kooskõlas Scholzi aerosoolide loenduriga tehtud mõõtmistega kohtades, kus puuduvad suured hälbed looduslikest olukordadest (joon. 18). Aerosoolide aastakeskmised kontsentratsioonid Tartus 1961. ja 1962. a. on vastavalt $25,4 \cdot 10^3$ cm⁻³ ja $27,1 \cdot 10^3$ cm⁻³

12. Ruumlaengu tihedus ρ arvutati raskete ja kergeate ionide kontsentratsioonide N_2 ja n_2 põhjal (val. 7) ja selle aastakeskmise oli 1951, 1961. ja 1962. a. vastavalt 200, —30 ja 280 e/cm³ Ruumlaengu tiheduse aastasel käigul on miinimum suvel ja maksimum talvel, ööpäevases käigus on peamiinimum kell 4 ja peamaksimum

kell 10 (joon. 19). Ruumlaengu tihedus ρ ja selle märk ionide spektri erineva liikuvusega rühmade puhul annab uue füüsikalise aluse ionide klassifikatsioonile (tab. 7), vastandina seni kehtivale kokkuleppelisele klassifikatsioonile (P. N. Tverskoi, H. Israel).

13. Ionisatsiooni mõõtmine äikese ajal spektri rajades $2,5-0,02 \text{ cm}^2/\text{s V}$ näitab ballolektrilise efekti tõttu suurt negatiivsete ionide kontsentratsioonide ülekaalu (joon. 20—1).

14. 1962. a. 4 ööpäeva kuus tehtud positiivsete keskmiste ionide ($k \geq 0,02 \text{ cm}^2/\text{s V}$) üksikmõõtmiste kontsentratsioonide ja meteoroloogiliste elementide vaheliste seoste analüüs kinnitab statistiliste keskmiste põhjal XII 1960.—X 1962. a. tehtud analoogilisi korrelatsioonseoseid (järelalus p. 9)

15. Atmosfääri-ionisatsiooni mõõtmised on hügieeni seisukohalt tähtsad vaatluskoha õhu saastumise või puhtuse hindamisel. Parameetri

$$M = n \quad N = \frac{n_2^+ + n_2^-}{2} \cdot \frac{N_2^+ + N_2^-}{2}$$

(n on mõlemat märki kergete, N — mõlemat märki raskete ionide kontsentratsioonide aritmeetiline keskmine) Tartus 1951., 1961. ja 1962. a. vastavalt $2,0 \cdot 10^6$, $2,1 \cdot 10^6$ ja $2,3 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-6}$ on praktikas sageli kasutatav õhu saastumise näitaja $c = \frac{N}{n} \cdot \frac{N^2}{M} = \frac{M}{n^2}$ reaalse informatsiooni mõttes ekvivalentne suurusega N^2 või lõpptulemusena suurusega N , kergete ionide puhul vastavalt n^{-2} ja n^{-1} . Viimasel juhul on suurus n pöördvõrdeline suurusega N ja karakteriseerib õhu puhtust.

16. Linna tingimustes õhk saastub vähem öösel kui päeval. Raskete ionide kontsentratsioon N_2^+ , N_2^- Tartus kell 1 öösel muutub aastast aastasse vähe (kõikudes 2000 kuni 3000 cm^{-3} piires) ja osutub vähesaastunud looduslikuks õhuks. Õhu saastumise näitajaks on samuti mõlemat märki raskete ionide kontsentratsioonide summa $N_2^+ + N_2^-$, mõõdetud kell 7. 13 ja 19 suhe summasse $N_2^+ + N_2^-$ mõõdetud kell 1 öösel; õhu puhtuse näitaja on analoogiliselt arvutatav kergete ionide summade $n_2^+ + n_2^-$ põhjal (joon. 21 ja 22).

17. Komplekssete karakteristikate tähtsuse tõttu meditsiinis ja kurortoloogias paneb autor ette lihtsas ja ratsionaalses ilmade tüpiseerimise skeemis [Шмидт, 1951; Ungeheuer, 1955] võtta aluseks kindlad näitajad: antitsükloonaalne ilmastik päikesepaiste suhtelise kestusega 0,3 (tüüp 1), 0,3—0,6 (tüüp 2) ja üle 0,6 (tüüp 3), tsükloonaalne ilmastik (tüüp 4 ja 5) ja üleminekuperiood (tüüp 6, 7) ning kohandas selle skeemi Tartu (Eesti NSV) ilmastikule (joon. 23) Kergete ionide kontsentratsioon on maksimaalne kõige päikesepaistelisema ilmatüübi 3 puhul ja minimaalne tsükloonaalse

tüübi 4 ja 5 puhul (joon. 23). Tsükloonaalse ilma puhul kerge-
ioonide (erandiks oli 1962. a. suvi) ja raskete ionide kontsentratsiooni on väiksem kui vastava poolaasta keskmine kontsentratsioon (joon. 25).

18. Tartu linna statistika põhjal (1960.—1963. a. 2615 surmajuhtu haiguste tagajärjel) oli üldine suremus ja suremus südame- ning vereringehaigustesse väiksem suvekuudel, juunis ja juulis, millal päikesepaiste päevane kestus on pikk ja kerge- ionide kontsentratsioon on kõrge (joon. 26). Tsüklonite möödumisel Tartust kaasaõhurõhu järsu langusega südame- ja vereringehaigustesse surnute arvu suur tõus aasta keskmisega võrreldes, oletatavasti tingitud atmosfäärivate (atmosfääri elektrilaengutel tekkivad elektromagnetilised lainet) mõjust haige närvisüsteemile.

19. Linnade õhupuhtuse seisukohalt on vaja: a) maju kütta suurte keskküttetsentraalide kaudu, mille kõrge korstnad on varustatud elektrostaatiliste filtritega ja linna piirest välja viia kõik õhku saastavad tööstuste küttekolded; (b) uute linnade ja linnaosade planeerimisel jaotada ühtlaselt üle linna parke ja haljasaladid.

20. Uurides kliima mõju inimesele on vaja uurida mitte ainult meteoroloogiliste elementide mõju, vaid ka atmosfääri-ionisatsiooni, atmosfääri elektrinähtuste (atmosfäärivate) ja atmosfääri aerosoolide (tuumade) toimet.

INVESTIGATIONS OF ATMOSPHERIC ION SPECTRA, HYGIENICAL AND BIOMETEOROLOGICAL SIGNIFI- CANCE OF IONIZATION IN TARTU

P. Prüller

Summary

In the period of August 1960 to July 1963 systematic measurements of atmospheric ionization were carried out 4 to 8 times in 24 hours by means of a combined aspiration ion counter [Reinet, 1955, 1956] installed in the northern wing of the main building of Tartu State University (situated in the centre of the city of Tartu, Estonian SSR) The ion counter had been equipped by the author and O. Saks with an automatic photorecorder, a vibrating reed electrometer and a selfrecorder [Saks, 1956, 1963]. To conduct a systematic study of atmospheric ionization 27 731 individual measurements were carried out with five groups of small ions in the course of three years (Fig. 1) and 11 085 individual measurements with three groups of large ions during twenty-nine months (Fig. 3). In the years 1962—1963 during 1560 hours a continuous registration of intermediate positive ions ($k \geq 0.02 \text{ cm}^2/\text{s V}$) was

conducted (Fig. 7—11) In all 40376 individual measurements were performed.

Meteorological data (Fig. 2) were obtained from (a) the Tartu Actinometric Laboratory of the Institute of Physics and Astronomy, the Academy of Sciences of the Estonian SSR at a distance of 3.5 km from the city centre; (b) the Tartu Meteorological Station of the Hydrometeorological Service of the Estonian SSR (at a distance of 8.5 km from Tartu; (c) the Meteorological Observatory of Tartu State University located in the University main building. Good agreement of the data of these stations shows that the meteorology of the town is characterized well by stations (a) and (b). Calculations of correlation coefficients were performed on the computer «Ural-4» of Tartu State University.

Conclusions

1. In the annual variation the average monthly densities of primary atmospheric ions, so-called molions (n_1 with a mobility of $k \geq 1,0 \text{ cm}^2/\text{s V}$) and of small ions (n_2 with $k \geq 0.1 \text{ cm}^2/\text{s V}$) revealed a minimum in the winter months (January to March) when the ground is solidly frozen and the separation of radon gas from the earth is hindered by the snow-cover, and a maximum in the spring and summer months (May to June), when due to the warming-up of the ground the separation of radon gas from the earth increases and the vertical air currents take radon high up (Fig.1). During the observation period the maximum of small ion densities ($n^+ = 860 \text{ cm}^{-3}$) and the maximum of the average duration of sunshine (12.3 hr per day) were in June 1963. The annual variation of the average monthly densities of intermediate ions ($N_0, 0.1 > k \geq 0,01 \text{ cm}^2/\text{s V}$), semilarge ions ($N_1, 0.1 > k \geq 0.001 \text{ cm}^2/\text{s V}$) and of large ions ($N_2, 0.1 > k \geq 0.00025 \text{ cm}^2/\text{s V}$) in the atmosphere (Fig. 3) is in phase opposition with the annual variation of small ions (Fig. 1)

In the course of ten years (1951—1961/62) the densities of molions (n_1) have increased by about 20% and those of small ions have been the same, whereas the densities of large ions have decreased by approximately 20% (Table 1, Fig. 4).

2. The annual variation of the densities of small ions (n_2) is in phase with the duration of sunshine per day (A), temperature (t) and visibility (V), and is in phase opposition with relative humidity (r) and the index of the state of the ground surface (E,O-dry; 1,2-wet; 3-frozen, etc.) and the density of large ions (N_2) (Fig. 2).

3. In the diurnal variation of the densities of small ions (n_2) and molions (n_1) the main maximum in the cold and the warm half-year is at 01.00 hr and the main minimum at 07.00 hr; the partial

maximum is after midday at 13.00 hr and the partial minimum is in the evening at 19.00 hr (local time). The variation of the densities of large (N_2) and semi-large (N_1) ions is in phase opposition to the variation of the densities of small ions (n_2) and molions (n_1) (Fig. 5).

4. The coefficient of unipolarity of small ions ranges from 1.1 to 1.2, that of large ions is approximately 1.0.

5. To obtain the actual densities n_α and $n_{\alpha+\beta}$ of molions (n_1) and of small ions (n_2) (without the ohmic current of large ions) extensive use was made of an analytical method [Tammet, 1967] (Table 2, formulas 1—4). The actual densities n_α of the α -group of ions (molions) are by 20—30% smaller than those of n_1 ; the actual densities $n_{\alpha+\beta}$ of the $\alpha+\beta$ -group of ions (small ions) are by 20% lower than those of n_2 (Table I 3, Fig. 6). Computations of ionic spectra bear out the existence of the intermediate β -group of ions ($1.0 > k \geq 0.1$ cm²/s V), the real densities of which in the years 1961 and 1962 were $n_\beta^+ = 240$ cm⁻³ and $n_\beta^- = 180$ cm⁻³ (Table 3).

6. Measurements of the densities of intermediate positive ions ($k \geq 0.02$ cm²/V sec) carried out in one and the same airchannel by means of two ion counters equipped with a selfrecorder show that the curves obtained by two different counters (average per 10-minute intervals) are identical in their average level, quasi frequency (equivalent to the number of the turning-points of each curve per hour) $f=1$ to 5 hr⁻¹ and amplitude (Fig. 7, lower). In the case of a considerable decrease of cloudiness or increase of visibility and vice versa the curves of densities measured by the two counters either rise or fall synchronously (Fig. 8—3 and 4). This indicates that the ions in the lower layers of the atmosphere are not uniformly distributed, i. e. the ion densities in equal micro-volumes are unequal.

7. Measurements of densities of intermediate ions ($k \geq 0.02$ cm²/s V) conducted during ten days in August 1963 by means of two counters (Figs. 9—11) of which one was located in the city centre (the main building of the University) and the other in the vicinity of the city (the Actinometric Laboratory at a distance of 3.5 km from the city centre) indicated that when a cold front with a distant thunderstorm (Figs. 10—3, at 16.00—24.00 hr) a warm front (Figs. 11—1, at 02.00 hr.) or an occluded front (Figs. 11—3, at 02.00 hr) passed over the town, the curves were very similar with close relative amplitudes ($n_a=0.1-0.5$) and frequencies ($f=2-4$ hr⁻¹) The average ion density of 10 days in the city and the countryside was equal, $n=950$ cm⁻³.

8. Relying on the measurements referred to in points 6 and 7 we conclude that the systematic measurements of ion densities conducted by means of a stationary counter (Figs 1 and 3) in the main building of the University fully represent and characterize the

situation in the field of ionization outside the town in the warm season (May to October) In this cold season (November to April) the situation of ionization in a small town is best characterized by measurements carried out at 01.00 hr (local time) (Fig. 21 and 22).

9. Relations between the ion densities and the meteorological elements are mostly indirect. For the period of 1960—1962, on the basis of the measurements performed, the computer has calculated 88 linear correlation coefficients for 11 meteorological elements and 16 indicators of the increase and decrease of ion densities have been derived in dependence on the direction of the wind blowing from different quarters (Fig. 12). The absolute values of 45 correlation coefficients are within the limits of 0.11 to 0.35, i. e. above the significance level $r_0=0.11$ (Table 4)

The densities of small ions (n_2) noticeably correlate with the meteorological elements: positively V , S_c , t (winter) and v , negatively r , \equiv , n_L (winter), e (summer) and E , those of large ions: positively p , \equiv (summer) and E (winter), negatively v , e , t , n_L and E (summer). (Table 4, Figs. 14—17) When the wind blows from the southeast, i. e. the town quarter having the greatest number of chimneys and central-heating smoke-stacks, the densities of large ions (N_2) are high and those of small ions (n_2) low; when the wind blows from the west, i. e. from the park on Toome Hill rich in deciduous trees, the reverse is the case (Figs. 13 and 14).

10. The application of the coefficient of alternativeness A (Formula 5) defined by the author for the comparison of two series of correlation coefficients show that (a) relations between the meteorological elements and the large-ion densities are more stable than the respective relations between small ions (Table 5); (b) the limit of the mobilities of small and large is $k=0.5 \text{ cm}^2/\text{s}$ V , which is also corroborated by other estimates and measurements (Table 6).

11. Calculations of aerosol densities in Tartu performed on the densities of large ions (N_2) (Formula 6) are in good correlation with the measurements conducted with the aerosol counter of Scholz at localities showing no great deviations from natural situations (Fig. 18). The average annual densities of aerosols in Tartu in 1961 and 1962 are $25.4 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$ and $27.1 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$ respectively.

12. The space charge concentration was calculated on the basis of the densities of large and small ions N_2 and n_2 (recording to Formula 7) and its annual mean for 1951, 1961 and 1962 was 200, -30 and 280 e/cm^3 respectively. The annual variation of the space charge concentration has a minimum in summer and a maximum in winter, the diurnal variation has its main minimum at 04.00 hr and its main maximum at 10.00 hr (Fig. 19). The space charge concentration q and its sign of individual groups of ions gives a

new physically founded basis for the classification of ion groups in the ion spectrum (Table 7), which is contrary to the conventional classification so far in use [P. N. Tverskoi, H. Israel].

13. Measurement of ionization during a thunderstorm within the limits of the spectrum 2.5 to 0.02 cm²/s V due to its balloelectric effect shows a great predominance of negative ions (Fig. 20, upper).

14. Analysis of the relations between the individual measurements of mean positive ions ($k \geq 0.02$ cm²/v sec) and of the meteorological elements carried out on 4 days a month in 1962 corroborates the analogous correlation relations established on the basis of statistical means during Dec. 1960—Oct. 1962 (Conclusion 9).

15. Measurements of the ionization of the atmosphere are important from the point of view of public health in evaluating the purity of the air at the site of observation. Taking into account the

constancy of the parameter $M = nN = \frac{n_2^+ + n_2^-}{2} \frac{N_2^+ + N_2^-}{2}$ (n is the arithmetic mean of the densities of small ions of both signs, N is that of large ions) in Tartu for 1951, 1961 and 1962 $2.0 \cdot 10^6$, $2.1 \cdot 10^6$ and $2.3 \cdot 10^6$ cm⁻⁶, respectively, the air pollution coefficient $c = \frac{N}{n} = \frac{N^2}{M} = \frac{M}{n^2}$ which is often used in practice, is in terms of the real information contained in it equivalent to the densities of large ions squared N^2 or, for that matter, also to the final result N , in the case of small ions to n^{-2} or n^{-1} , respectively. Taking this into account, the ion counter can be used for extensive research in the field of public health.

16. In town conditions the air becomes less polluted in the night. The density of large ions N_2 in Tartu at 01.00 hr changes little from year to year (fluctuating within the limits of 2000 to 3000 cm⁻³). As an indicator of the pollution of the air may serve the ratio of the sum of large ions of both signs $N_2^+ + N_2^-$ measured at 07.00, 13.00 or 19.00 hr to the sum $N_2^+ + N_2^-$ measured at 01.00 hr. The indicator of the purity of the air is likewise calculable by the ratio of the sums of the densities of small ions $n_2^+ + n_2^-$ (Fig. 21 and 22)

17. Due to the importance of complex characteristics in medicine and the management of health-resorts, the author suggests that in the simple and rational scheme of the classification of weather conditions into types [Schmidt (Шмидт) Leningrad, 1951; Ungeheuer, 1955], the following indicators be taken for the basis: anti-cyclonic weather conditions together with the relative duration of sunshine up to 0.3 (type 1), 0.3—0.6 (type 2) and over 0.6 (type 3), cyclonic weather conditions (types 4 and 5) and transitional periods with rain (type 6) and without rain (type 7). The author has adapted this scheme for the weather conditions in Tartu (Estonian

SSR) (Fig. 23) The small ion density is at its maximum in the case of the most sunshiny weather type 3 and its minimum in the case of weather types 4 and 5 (Fig. 24). In the case of cyclonic weather conditions the densities of small ions (with the exception of the 1962 summer) and of large ions are smaller than the respective mean densities of the respective half-year (Fig. 25).

18. According to the statistics concerning the town of Tartu there were 2615 deaths due to diseases from 1960 to 1963, total mortality and mortality from incidence of cardio-vascular diseases in particular diminished in summer months as a result of long periods of sunshine during the day and high densities of small ions (Fig. 26). A sudden decrease in atmospheric pressure is accompanied by a considerable increase in daily mortality, which is most probably due to the effect of atmospheric, (i. e. electromagnetic waves accompanying cyclons and thunderstorms) on the nervous system of patients (Fig. 27).

19. From the point of view of the purity of the air in towns, it is necessary that central heating units of houses situated in the centre of a town should be replaced by central heating plants whose tall funnels should be provided with electrostatic filters and, further, that all the industrial enterprises polluting the air should be taken out of the town boundaries. When planning new towns and town districts, large parks must be uniformly distributed all over the town and verdant areas of land must be laid out between buildings.

20. When investigating the effect of climate on man, in medical prophylaxis and therapy as well as in the health-resort management, it is necessary to study not only the influence of meteorological elements, but also atmospheric ionization, atmospheric electrical phenomena (atmospherics) and atmospheric aerosols (nuclei)