

Е. Ф. ЧЕХОВА

ПОДСЧЕТ
ЧИСЛА ИОНОВ В АТМОСФЕРЕ
НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ
СИБИРСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
в г. Томске летом 1926 г.

ТОМСК — 1929

Подсчет числа ионов в атмосфере на метеорологической станции Сиб. Технологич. Института в г. Томске летом 1926 г.

I глава.

Литературные данные.

Атмосферное электричество в различных своих проявлениях возбуждало большой интерес уже в давно прошедшие времена.

Начало научных исследований было положено в XVII веке, в последующие столетия наблюдался рост электрометеорологии как науки, в конце XIX века она приняла совершенно новое направление, благодаря работам Эльстера и Гейтеля, положивших в основу учения об атмосферном электричестве ионную теорию, которая принимается и современной наукой. По этой теории в результате ионизации атмосферы получаются обычные ионы (положительные и отрицательные), с подвижностью порядка $1 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \frac{\text{volt}}{\text{cm}}$, и ионы тяжелые (Langevin'a) с подвижностью меньшей приблизительно в 3000 раз. Последние образуются вследствие адсорбции части нормальных ионов на твердых и жидких частицах и, в большинстве случаев, отрицательны¹⁾.

Согласно мнению проф. Тверского²⁾, чтобы понять сущность электрических процессов в атмосфере, необходимо изучать не только ионизацию, но и ионизаторы; „важнейшим же ионизатором являются радиоактивные вещества, содержащиеся в атмосфере и земной коре“.

По теоретическим подсчетам, радиоактивные вещества атмосферы обуславливают образование, в общем, $2,85 \frac{\text{ион}}{\text{cm}^3 \text{ sec}}$ (если учесть действие тория и актиния, то получится увеличение на 30—40%).

Из наблюдений же найдено число вновь образующихся ионов $1,47 \frac{\text{ион}}{\text{cm}^3 \text{ sec}}$ (в случае, если при вычислениях в формуле $q = \alpha n^2$ принять для α значение порядка 10^{-6} , т. е. его обычное значение; но, если же понимать под α не коэффициент воссоединения, а коэффициент пропадаания ионов, то число q получится значительно больше.—Указание проф. Тверского).

Согласно мнению проф. Тверского, источники радиоактивности атмосферы находятся преимущественно в земной коре; эманация, вместе с почвенным воздухом, выходит в атмосферу путем диффузии „и вследствие всасывающего действия вертикальных и горизонтальных течений воздуха“. Законы этого „дыхания почвы“ очень сложны.

Из наблюдений известно, что 1 cm^3 почвенного воздуха содержит $113000 \frac{\text{ион}}{\text{cm}^3}$. Приток эманации и воздуха из почвы зависит от температуры, давления и связан с проницаемостью почвы.

¹⁾ Клоссовский. „Основы метеорологии“, изд. Матезис 1914 г. ст. 464.

²⁾ Тверской. Журнал Геофиз. и метеорол. 1926 г. III т. 3—4в. ст. 196—206.

Итак, радиоактивные вещества играют главную роль в ряду причин ионизации атмосферы—

1. Сама радиоактивная эманация, попадая в атмосферу, ионизует ее воздух, создавая равное число ионов обоого знака;

2. Благодаря присутствию радиоактивных веществ в почве, происходит сильная ионизация почвенного воздуха, здесь создается тоже равное количество положительных и отрицательных ионов; почвенный воздух поднимается по земным капиллярам, ионы адсорбируются их стенками. „Коэффициент диффузии зависит от подвижности ионов, он больше для отрицательных; следовательно, адсорбция ведет к различию в содержании ионов (того и другого знака¹⁾“. „Диффундируют к стенкам земных капилляров преимущественно отрицательные ионы, они адсорбируются ими, сообщая земле отрицательный заряд; почвенный-же воздух поступает наружу с избытком положительных ионов²⁾“.

На последнем факте и строится „адсорбционная теория“ возмещения отрицательного заряда земли, высказанная Elster'ом и Geitel'ем, дополненная Эбертом.

Согласно выводам Эльстера и Гейтеля, ионизация самой атмосферы невелика; по исследованиям Томсона и Румфорда, ионизация в летний день у земли слабее в 100000 раз, чем в рентгенизированном газе (даже при самых слабых X лучах)³⁾; но все-же в большем или меньшем количестве ионы обоих знаков всегда присутствуют в атмосфере, число их меняется как периодически (в течение суток и года), так и не периодически под влиянием различных факторов, нарушающих и изменяющих нормальный ход явлений.

Как видно из литературы, элементы атмосферного электрического поля исследовались многими учеными; я-же остановлюсь только на результатах наблюдений, касающихся значений величин n , q , E ⁴⁾. Ниже я приведу некоторые результаты этих исследований.

Данные наблюдений показывают несомненную зависимость величины заряда (в 1 m^3) от географического местоположения.

На такую зависимость, между прочим, указывают Mache и Schweidler в Западной Европе⁵⁾.

По их вычислениям, в среднем величина $E = 0,3 - 0,4 \text{ ESE}$ на 1 m^3 , что дает около 1000 ионов обоого знака в 1 cm^3 ⁶⁾. При чем, преобладают положительные ионы.

Оболенский⁷⁾ приводит таблицу результатов наблюдений в Пестдаме, Мюнхене, Москве, Сэнтисе, Карасиоке.

Из них для $E +$ минимальное среднее значение было в Москве $+0,34 \text{ ESE}$, максимальное среднее значение его наблюдалось в Мюнхене $+0,53 \text{ ESE}$, для $E -$ наибольшее среднее $-0,42 \text{ ESE}$ —тоже в Мюнхене, наименьшее среднее $-0,13 \text{ ESE}$ в Сэнтисе.

1) Оболенский. Геофизическ. сборник. I т. вып. III ст. 57.

2) То-же. Стр. 213.

3) Ebert Phys. Zeitschr. 1901 г. 46 p. 664.

4) Обозначения n —число ионов в 1 cm^3 ; q —отношение $\frac{n+}{n-}$; E —заряд в ESE в 1 cm^3

5) Mache, Schweidler „Die Atmosphär. Elektrizität“ 88 ст. 1909 г.

6) Mache, Schweidler, Сперанский и многие другие, исследования и данные которых относятся ко времени до 1911 года, принимали $\epsilon = 3,4 \cdot 10^{-10} \text{ ESE}$, если принять его $= 4,77 \cdot 10^{-10} \text{ ESE}$, то указанное число ионов изменится на 29%; $\epsilon = 4,9 \cdot 10^{-10}$ дает уменьшение n на 31%.

7) Оболенский. Геоф. сборн. I том III в. 51 ст. Указывая для ϵ значение $4,7 \cdot 10^{-10} - 4,9 \cdot 10^{-10} \text{ ESE}$ он приводит результаты других исследователей, принимавших $\epsilon = 3,4 \cdot 10^{-10} \text{ ESE}$.

Ионы положительные в среднем преобладают, особенно на вершинах гор; в свободной же атмосфере с высотой значения $n+$ и $n-$ уравниваются.

Клоссовский¹⁾, делая общую сводку рассеяния, тоже указывает на преобладания $n+$ над $n-$, считая в среднем $q=1,18$. Келер²⁾ приводит для Северо-Германской низменности значение $E\ 0,2-0,4\ ESE$ в $1\ m^3$, для $n+$ и $n-$ 400—800 в $1\ cm^3$, для $q=1,1$; указывая на преобладание $n+$ над $n-$, вообще, он отмечает особенно большое значение q над океаном и объясняет это эффектом Ленарда с соленой водой (при разбивании капли соленой воды она заряжается отрицательно, а воздух положительно), а также адсорбцией паров преимущественно на отрицательных ионах. На высоких горах $E+$ растет до $1,1\ ESE$ (при $\varepsilon=4,9\cdot 10^{-10}\ ESE$)³⁾. Число ионов, по данным Келера, над океаном меньше, чем над материком. Того же мнения придерживается и Виткевич⁴⁾; он нашел, что в Москве и с. Кучино числа $n+$, $n-$ значительны, а q близко к 1-це (для августа $q=1,3$). Горный воздух, по его мнению, сильно положительно наэлектризован. Большое значение получают $n+$ и $n-$ в пещерах; по его наблюдениям 8/VIII 1924 г. в пещере:

	$n+$	$n-$
Бин-Баш-Хоби	5220	7630 в $1\ cm^3$
Суук-Хоби	16860	15880 в $1\ cm^3$

Наблюдения Виткевича в Ялте в течение нескольких дней летом 1924 г. тоже дали, по преимуществу, преобладание положительных ионов, при чем,

на молу абсолютный maximum	$n+$ 763
"	minimum $n+$ 436
"	maximum $n-$ 654
"	minimum $n-$ 272
на Чайной улице maximum	$n+$ 1472 и minimum $n+$ 926
"	$n-$ 600 " $n-$ 218

Большой интерес представляют результаты, полученные Сперанским⁵⁾ в Москве; из четырехлетних наблюдений колебание средних месячных значений (при $\varepsilon=3,4\cdot 10^{-10}\ ESE$)

для $E+0,17-0,47\ ESE$, для $E=0,17-0,38\ ESE$

Maximum q в июле 1,32 (среднее месячное) minimum в ноябре 0,81. Летом в среднем q растет от июня к августу.

Наибольшее количество положительных ионов в Москве наблюдалось летом, а для отрицательных осенью, minimum зимой.

По годовым средним число ионов в $1\ cm^3$ для $n+$ 940, для $n-$ 880. Летом среднее число положительных ионов 1210. Летом значительно преобладают положительные, а зимой незначительно отрицательные ионы.

Абсолютный maximum в Москве 3800 $1\ cm^3$ для $n+$
3500 $1\ cm^3$ для $n-$

Абсолютный maximum q достигает до 8,7.

По данным Сперанского (459 ст. указанной статьи), в Обсерватории в Ескалемиг результаты наблюдений таковы, что в части их преобладает $n-$. При просмотре (матерьяла) наблюдений самого Сперан-

¹⁾ Клоссовский. „Основы метеорологии“, изд. Матез. 1914 г. 467 ст.

²⁾ Келер „Атмосферное эл-во“ 1924 г. ст. 79.

³⁾ Келер. „Атмосферное эл-во“ 1924 г. ст. 73.

⁴⁾ Виткевич. Журнал Геофиз. и метеоролог. II т. вып. 1—2 1926 г. ст. 73 (величину ε он принимает равной $4,9\cdot 10^{-10}\ ESE$).

⁵⁾ Сперанский. Уч. зап. Им. Московск. Университ. 1911 г. 26 вып. ст. 444—460.

ского можно заметить в некоторых из них преобладания отрицательных ионов, чего нет в средних месячных.

Наблюдений над ходом E , p , q произведено также очень много. Для примера я приведу некоторые из них. „Ход разный в одном месте в разное время года и в разных местах в одно время¹⁾).

Mache указывает, что Gockel нашел maximum $[E]$ после полудня и ночью (Freiburg), Schweidler получил maximum $[E]$ утром ($6^h - 8^h$) и в первые ночные часы, днем же значительный minimum (Mattsee); Simpson (Karasjok) из трех наблюдений в день имел minimum $E +$ в $6^h - 7^h$ вечера. W. Conrad'ом (Santis) из 4-х дней наблюдений ход менее ясный для $E +$ и ясный minimum для $E -$ после полудня и maximum ночью.

По наблюдениям Виткевича²⁾, maximum числа ионов того и другого знака бывает в Ялте в 1^h дня. Оболенский³⁾ считает, что „вообще суточный ход не установлен, тем более, что почти нет ночных наблюдений“.

Так в богатых матерьялах Сперанского⁴⁾ за несколько лет для Москвы имеется лишь 3—4 дня с наблюдениями за полные сутки. Главное свое внимание он уделяет годовому ходу.

Годовой ход значений $E +$, $E -$, как и, вообще, для средних широт, простой с максимум в августе и минимумом зимой в январе. Такой же простой ход получил Simpson в Лапландии, но с максимумом весной⁵⁾. Конечно, нормальный ход для данного места может быть намечен, но вследствие различных причин возможны частичные, иногда и значительные, отклонения.

Я приведу некоторые данные из литературы по вопросу о влиянии метеорологических и других факторов на E , p , q и их ход. Келер⁶⁾ указывает на уменьшение $[E]$ при повышении давления, при увеличении относительной влажности, при тумане, мгле и т. п. и констатирует прямую зависимость от температуры. Вместе с тем, он говорит о присутствии пыли как о причине пополнения воздуха отрицательными ионами, ссылаясь на наблюдения в Ботавии (а иногда и в средней Европе), когда поэтому воздух казался отрицательно заряженным относительно земли; q наибольшее при тумане и мгле; облака, по его мнению, влияют аналогично густому туману. Дым имеет знак $+$ или $-$, он оказывает влияние на поле при расстоянии далее 300—400 м.

Mache и Schweidler⁶⁾ приводят результаты наблюдений Simpson и Gockel'a, получивших параллелизм хода числа ионов с температурой. Из других приведенных ими данных видно, что увеличение относительной влажности понижало $E -$ и $E +$, что особенно сказывалось на $E -$, глубокому понижению давления соответствовали большие значения $[E]$; противоречащие последнему заключению результаты получены Gockel'ем и Schweidler'ом; из независимых между собой исследований они нашли, что при установившемся положении барометра E выше, чем при падающем. Все исследователи солидарны в том, что всякое помутнение атмосферы понижает E . Келер отмечает при выпадении осадков и после увеличение числа отрицательных ионов⁷⁾. По

1) H. Machе, Schweidler 1909 г. III к. „Die Atmosphär. Elektrizit.“ p 88—93.

2) Виткевич. Журн. Геофиз и метеорол. II т. 1—2 в. ст. 72.

3) Оболенский. Геофизич. сборн. I том, вып. 3 ст. 52.

4) Сперанский. Учен. Зап. Моск. Унив. „отд. ф. м.“ вып. 26 ст. 337—433.

5) Келер. „Атмосферное эл-во“ 1924 г. ст. 80, 35, 30, 71.

6) Machе, Schweidler. „Die Atmosphär. Elektrizit.“ 1909 ст. 90—92.

7) Келер. „Атмосф. эл-во“ 1923 г. ст. 42, 72, 71.

его указаниям, перед бурей и грозой q достигает исключительного значения.

О влиянии и знаке заряда облаков мнения исследователей расходятся.

Проф. Тверской¹⁾ указывает, что, согласно опытам Виганда, „при туманах излучения (антициклонических)“ преобладают положительные заряды капель, „в туманах смещения“ такого исключительного преобладания не наблюдается, при чем, в туманах излучения заряды капель тумана выше.

Для России интересны результаты Сперанского²⁾, касающиеся зависимости хода p , E , q от метеорологических элементов. Из летних его наблюдений видно, что влияние изменений давления незначительно и сказывается, главным образом, на положительных ионах. Убывание количества ионов при повышении давления наблюдалось для отрицательных с 732 мм., а для положительных с 742 мм., при меньших давлениях такой зависимости не констатировано.

Главное значение Сперанский приписывает изменению температуры. При возрастании температуры до $17,6^{\circ}\text{C}$ наблюдается увеличение $p+$ и $p-$, далее идет уже убывание, т. к. почва высыхает, и поднимается, уменьшающая прозрачность атмосферы пыль. Максимум $E-$ при 15° , а $E+$ при более высоких температурах.

При возрастании абсолютной влажности увеличивается E и, вместе с тем, q ; но возрастание абсолютной влажности выше 13—15 мм ведет к уменьшению E (особенно $E-$). $E+$ достигает максимума при температурах выше 25°C , при том же неизменном условии, чтобы абсолютная влажность не превышала 13—15 мм. Высокая относительная влажность понижает E (особенно $E-$). Определенной зависимости p от осадков Сперанским не найдено. Зависимость заряда от степени солнечной радиации им не установлена, вследствие неблагоприятных городских условий наблюдений. В литературе вопрос о действии солнечных лучей освещен разносторонне^{3, 4)}.

Солнечные лучи с одной стороны, способствуют повышению температуры и, следовательно, образованию восходящих воздушных токов, уносящих ионы вверх; с другой стороны они оказывают фотоэлектрическое действие ультрафиолетовой своей частью. Более короткие (энергичные) ультрафиолетовые лучи Шумана ($\lambda = 90-180 \text{ м}\mu$) поглощаются более высокими слоями атмосферы. Лучи, доходящие до земли, значительно слабее, они неспособны ионизовать воздух и влияют лишь на его примеси (кроме капель воды), действуя на них фотоэлектрически.

Падая на поверхность почвы, содержащей гранит, известковый и плавиковый шпат, даже слабые ультрафиолетовые лучи вызывают испускание электронов.

Как можно видеть из немногих выше приведенных литературных справок, за период с 1899 г. было исследовано много интересных и важных вопросов в области электрометеорологии.

Приведенные данные говорят о том, что результаты исследований по отдельным вопросам (напр., ход E и его предельные значения) крайне разноречивы.

Попытка проведения, правда, непродолжительных по сроку наблюдений была сделана мною летом 1926 года на метеорологической

¹⁾ Тверской. „Метеорологич. вестн.“ XII 1925 г. ст. 28.

²⁾ Сперанский. „Учен. Зап. Моск. Университ.“ отдел ф.-м. 26 вып. ст. 460—482.

³⁾ Оболенский. „Геофизич. сборн.“ I т. вып. 3 1914 г. ст. 87.

⁴⁾ Келер. „Атмосф. электр.-во“ 1923 г.

станции СТИ в Томске. Целью работы, к которой я теперь перейду, было—

1. Определить значение $n+$, $n-$ ($E+$, $E-$), q ;
2. Наметить, по возможности, нормальный ход значений этих величин, а также выяснить связь их с различными факторами и метеорологическими элементами.

II глава.

Аппаратура и условия наблюдений.

Работа по подсчету ионов атмосферы при помощи аспирационного прибора—„счетчика ионов Эберта“ проводилась на метеорологической станции СТИ г. Томска в летний период 1926 г. (главным образом, в июне и июле, отдельные же наблюдения были в августе и сентябре).

Применение счетчика Эберта основано на том, что величина спадания листочков заряженного электроскопа, приходящаяся на 1 м^3 воздуха, протянутого вентилятором через конденсатор счетчика, может служить мерой ионизации атмосферы.

Прибор Эберта принадлежал физической лаборатории СТИ. Перед началом исследований была определена и вычислена емкость конденсатора счетчика и произведена градуировка шкалы электроскопа (емкость конденсатора получена равной $22,9 \text{ см}$). Эта предварительная работа была сделана мною с помощью преподавателя Т. Г. У. М. П. Орловой в лаборатории неорганической химии Т. Г. У.

В результате градуировки была мною построена кривая зависимости суммы отклонений листочков электроскопа (от середины шкалы) от потенциала, до которого последний заряжен.

Отдельные серии наблюдений были проведены в трех пунктах—

I пункт—метеорологическая будка, она расположена почти в центре большого двора (около 10000 м^2), частью мощеного булыжником, частью утрамбованного шлаком, окруженного с 3-х сторон трехэтажными каменными зданиями института, только с четвертой его стороны находятся низкие деревянные строения. Два ближайшие корпуса выбелены. Расстояние будки до самого близкого из многоэтажных зданий не меньше 30 м , так что тень его, как и тень аллеи тополей, проходящей на запад от загородки метеорологической станции, не падала на место установки прибора. Счетчик располагался на лестнице метеорологической будке приблизительно на высоте метра от земли (покрытой травой).

Заземление кожуха электроскопа осуществлялось с помощью проволоки, припаянной к метровому металлическому стержню, забитому почти до конца в землю (почва глинистая, плотная).

II пункт—палисадник, находящийся с южной стороны физического корпуса и отделяемый от улицы решетчатым забором. В него выходят окна подвала, обычно закрытые. Деревья в палисаднике редкие, почва глинистая, покрытая травянистой растительностью.

Заземление проводилось присоединением проволоки от кожуха к водопроводной трубе, выходящей в сад. Прибор устанавливался около стены здания близ ряда тополей, в их тени, на высоте, приблизительно, 1-го метра над землей.

III пункт—верхняя открытая площадка на вышке физического корпуса института, находящейся над землей на 20 метров^1). Здесь

¹⁾ Игнатъев. „Метеорологическая станция при физической лаборатории Томского Технологич. института“ 1910 г. ст. 2.

было произведено несколько отдельных наблюдений, не носивших систематического характера. Для заземления служила газовая труба, выходившая на вышку.

Как видно из вышесказанного никаких специальных приспособлений для установки и защиты прибора не было, что лишало возможности работать при ветре и осадках, так что материал, собранный мной, относится, главным образом, к тихой и недождливой погоде. Большая часть наблюдений была проведена в I-м пункте.

Технологический институт расположен среди города, вблизи от электрической станции, завода и угольных складов, чем и обуславливается почти постоянное присутствие в воздухе угольной пыли.

Трехэтажные здания Технологического института нарушают однородность атмосферного электрического поля в месте наблюдений, т. к., изгибаясь соответственно форме зданий, изопотенциальные поверхности около них более сближены, чем над горизонтальной и ровной поверхностью.

Так как об элементах электрического поля можно говорить только применительно к данному месту и в определенное время, то, по возможности, соблюдалась регулярность во времени и единство места. Наблюдения в избранные дни производились с 8—9^h утра до 9^{1/2}^h вечера, приблизительно, через 2-х—3-х часовые промежутки, параллельно велись метеорологические наблюдения. Ночных наблюдений не было. При определении количества ионов в 1 см³ наблюдения над ионами каждого знака проводилось в течение, приблизительно, 20—25 минут (считая с момента пуска в ход вентилятора): 10 минут при действии вентилятора, 10 минут без него с закрытой верхней трубой, чтобы найти потерю заряда от несовершенства изоляции.

Электроскоп заряжался приблизительно до 200 в (как и в опытах самого Эберта). Вычисление E в электростатических единицах делалось по формуле

$$E = \frac{C\Delta V}{300 \cdot M},$$

где C — емкость конденсатора, вычисленная мною и равная 22,9 см. ΔV — понижение потенциала через рассеяние (обусловленное ионами воздуха).

M масса воздуха, протянутого вентилятором в м³, отмечаемая счетчиком у вентилятора, $E \approx 10^6$, где n число ионов в 1 см³, E заряд 1 м³ (в ESE), e заряд электрона (равный $4,77 \cdot 10^{-10}$ ESE); q вычислялось

$$\text{по формуле } q = \frac{n+}{n-}$$

Прибор Эберта улавливает почти полностью только нормальные ионы, малоподвижные же улавливаются им лишь отчасти¹⁾. Таким образом, увеличение числа тяжелых ионов (в силу каких либо причин) дает уже уменьшение общего числа ионов, подсчитываемых этим счетчиком.

Вследствие выше указанной униполярности тяжелых ионов, свободный заряд в 1 м³ δ , равный $(E+ - E-)$ ESE не мог быть определен способом Эберта²⁾.

¹⁾ Сперанский. „Учен. Записки Моск. Ун-та“ ф.-м. отд. 1911 г. 26в. ст. 447.

²⁾ Клоссовский. „Основы метеорологии“ 1914 г. Матезис ст. 464.

III глава.

Результаты наблюдений в Томске.

Для установления законов изменений какой либо величины необходимо большое число наблюдений и значительный промежуток времени. Число же дней с систематическими наблюдениями у меня ограничено, а потому можно говорить лишь о наметившемся нормальном ходе элементов (p , E и q) и постараться уяснить причины, вызвавшие отклонения от него в зависимости от метеорологических и других факторов.

Все результаты наблюдений приведены в таблице I с краткой характеристикой отдельных дней; для большей наглядности к работе приложены кривые хода отдельных элементов ($p+$, $p-$, q) табл. III.

Как видно из них, для значений величин $p+$ и $p-$ наметился двойной дневной ход, где

I minimum утром (вероятно после восхода солнца),

I maximum перед полуднем (около 11^h а. м),

II minimum после полудня (для $p+$, обычно, в 1^h—3^h р. м, для $p-$ большей частью около 5^h—6^h р. м),

II maximum, вероятно, ночью.

Возрастание к вечеру для $p+$ и $p-$ замечено в большинстве дней с нормальным не искаженным ходом.

Учесть дневной ход q чрезвычайно трудно, т. к. в нем комбинируется изменение значений величин $p+$ и $p-$. Большим постоянством в дневном ходе q обладает maximum в 5^h—7^h часов р. м (в нормальные дни). Часто скоро после полудня замечается minimum q , но постоянного характера он не носит. Подводя итоги результатов, полученных мною, можно указать на большое сходство хода значений $p+$, q в Томске и Вене, только утренний I maximum для $p+$ в Вене в 9^h а. м (в Томске в 11^h а. м), и minimum q в Вене в 10^h а. м (для Томска же чаще после полудня).

Ход $p-$ для Томска сходен с Постдамским¹⁾.

Сводкой наблюдений над элементами q , $p+$, $p-$, $E+$ и $E-$ является таблица II (наблюдения на вышке не входят).

Таблица II.

Элементы	I	II		III	
	Средние значения элементов за весь период.	Среднее из наблюдений за июнь 1926 г.	Среднее из наблюдений за июль 1926 г.	Maximum средних дневных значений	Minimum средних дневных значений
q	0,9	0,7	~1,0	1,6—26/VIII	0,57—16/VI
$p+$	198	147	229	279—7/VII	100—23/VI
$p-$	231	250	271	302—7/VII	136—23/VI
$E+$	0,08	0,06	0,11	0,12—7/VII	0,05—23/VI
$E-$	0,10	0,09	0,13	0,13—7/VII	0,07—23/VI

I графа. Средние значения за весь период для исследуемых элементов (q , $p+$, $p-$, $E+$, $E-$) (во внимание приняты все наблюдения).

II графа. Средние из наблюдений; за июнь и июль месяцы было произведено большее количество наблюдений. Но эти сведения не

¹⁾ Келер. „Атмосферное электричество“ 1923 г. ст. 79.

являются средними месячными, т. к. наблюдения не были ежедневными. Эти две графы (I и II) составлены по наблюдениям всех дней при любом числе наблюдений за день. Подразделения дней на ясные и пасмурные не делалось во избежание произвольности выбора.

III графа. „Maximum (minimum) средних дневных значений“.

Были подсчитаны все средние значения для дней с числом наблюдений не менее 3-х, из дневных средних были взяты максимальное и минимальное.

Из выше приведенных результатов моих наблюдений видно, что количество ионов в 1 cm^3 не остается постоянным, оно варьирует от дня ко дню.

Среднее число ионов за день колеблется для $p+$ от 100 до 279, а для $p-$ от 136 до 302.

Замечается, вообще, как будто бы некоторое повышение числа ионов по средним дневным наблюдениям от июня к июлю.

Минимальное дневное среднее для $p+$, $p-$, $E+$, $E-$ падает на 23/VI
Максимальное „ „ „ „ „ „ на 7/VII

Среднее значение за весь период для $E+0,08 \text{ ESE}$ на 1 m^3

„ „ „ „ „ „ $E-0,10 \text{ ESE}$ на 1 m^3

„ „ „ „ „ „ q близко к 1-це (0.9)

Максимальное дневное среднее за период для q 1,6 26/VIII

Минимальное „ „ „ „ „ „ 0,57 16/VI

Аномальность дневного хода может быть отмечена—

для $p-$ 26/VIII,

для $p-$ и $p+$ 30/VI.

1) 26/VIII (набл. на будке)

Средние за день : $p+ = 205$, $p- = 151$, $q = 1,5$

Ход $p-$ совершенно аномален, падение значения $p-$ к вечеру отразилось и на ходе q , вызвав быстрый рост последнего с 3^h рт.

Ход $p+$ нормален, но крайние значения его очень резки.

2) 30/VI (набл. на будке)

Средние за день $p+ = 142$, $p- = 208$, $q = 0,66$

Аномалии:

1. для $p-$ падение от более ранних часов утра к 11^h ат.,
2. отсутствие после полуденного минимума $p-$, $p+$.

Незначительные отступления от установленного хода, но не нарушающие, однако, нормального характера его, имели место 16/VI, 19/VI, 7/VII, 9/VII, 6/IX.

I. 16/VI (на будке)

Средние значения: $p+ = 125$, $p- = 235$, $q = 0,57$

Наблюдалось 1. смещение минимума $p-$ на 3^h рт,

2. падение $p+$ к вечеру

II. 19/VI (на будке)

Средние значения: $p+ = 163$, $p- = 231$, $q = 0,76$;

Отмечено 1. смещение I-го максимума $p+$ и $p-$ на 1^h рт,

2. смещение минимума $p+$ на 5^h рт.

III. 7/VII (в палисаднике)

Замечено запоздание минимума $p+$ (на 2—3 часа).

IV. 9/VII (в палисаднике)

Средние за день: $p+ = 175$, $p- = 232$, $q = 1,13$

Имело место 1. падение $p-$ от утра к 11^h ат,

2. смещение послеполуденного минимума для $p-$ на 2^h дня,

3. смещение максимума q на 2^h рт.

V. 6/IX (на будке)

Среднее значение $p + = 168$, $p - = 231$, $q = 0,92$;

Отмечено 1. смещение утреннего максимума $p +$ на после полуденные часы,

2. падение $p -$ от утра к 11^h am,

3. смещение максимума q на 2^h pm.

Дневной ход значений величин E , p , q зависит от хода изменений количества эманации близ почвы, выхода ионизованного воздуха из земли и изменений прозрачности атмосферы.

Руководствуясь указаниями проф. Тверского¹⁾ относительно изменения количества эманации у почвы и описанием земного электрического поля Оболенского²⁾ а также принимая во внимание некоторые свои соображения, можно, в общем, дать краткое объяснение наметившегося в Томске дневного хода величин $p +$ и $p -$ летом 1926 г. Maximum количества эманации у земной поверхности падает на $2-3^h$ ночи (minimum в $16-17^h$)³⁾ воздух прозрачен, т. к. ядра адсорбции почти отсутствуют, количество легких ионов-велико. Ночное охлаждение земной поверхности достигает своего максимум к восходу солнца, упругость воздуха в верхних слоях почвы уменьшается, появляется ток воздуха от атмосферы к земле, что будет затруднять выход эманации и почвенного воздуха, пока достаточно не нагреется почва. Следствием выше указанного явления, а также благодаря уменьшению прозрачности атмосферного воздуха от тумана, поднявшегося после восхода солнца-является утренний minimum числа ионов.

По мере нагревания земли солнцем атмосфера становится прозрачнее, т. к. появляются, хотя еще и слабые, восходящие токи, уносящие туман; почва постепенно нагревается, и снова увеличивается число ионов у земли, но токи пока слабы и уносят вверх лишь незначительное количество ионов—следовательно, около 11^h am можно ожидать максимум $p +$ и $p -$. К полудню и далее восходящие токи постепенно крепнут и становятся способными уносить вверх от земли воздух, богатый эманацией и, вообще, ионами; постепенно этот процесс берет перевес над притоком почвенного воздуха и эманации из земли. Прозрачность атмосферы после полудня падает, в воздухе появляется большая примесь пыли, т. к. поверхностный слой почвы высыхает под действием солнечных лучей. Все вышеуказанные процессы дают понижения числа ионов, и оно в послеполуденный период достигает своего минимума, но вопрос усложняется следующими обстоятельствами:

1. Присутствие ядер адсорбции способствует уменьшению главным образом $p -$, т. к. отрицательные ионы адсорбируются быстрее, чем положительные, как обладающие большей подвижностью;⁴⁾ следовательно, число легкоподвижных отрицательных ионов уменьшается в большей мере, чем ионов $+$.

2*. С другой стороны, под действием солнечных лучей малой длины волны пылинки могут испускать электроны, как было уже указано выше.

Максимум силы восходящих таков воздуха обычно бывает часа через $2-3$ после полудня, ионы уносятся вверх от земли, и количество ионов после 11^h am падает. Если обратить внимание на ход $p +$ и $p -$ в отдельности после полудня, то минимум $p +$ падает на период сильных восходящих токов ($1^h - 3^h$ pm). Максимум фотоэлектрического эффекта

¹⁾ Тверской. Журнал Геофиз. и Метеорол. III. т. 3—4 в. ст. 196—207.

²⁾ Оболенский. Геофизич. сборн. I т. 3 вып. 1914 г. ст. 29.

³⁾ Тверской. Журнал Геофизики и метеорологии III т., 3-4 в. ст. 202.

⁴⁾ Оболенский Геофизич. сборн. I т. 3 вып. ст. 57.

солнечных лучей Келер ¹⁾ относит к периоду от 11^h — 1^h р.м., может быть, результаты его скажутся и после полудня, можно сделать предположение (правда, с большой осторожностью), что, возможно, минимум n — запаздывает сравнительно с $n +$, именно, вследствие явления „2*“ (указанного выше) и наступает лишь тогда, когда солнечные лучи уже ослабевают (к 5^h р.м.), и пыль воздуха только уменьшает его прозрачность, а конденсация паров на пылинках и токи к земле еще слабы. Температура с 5^h — 6^h р.м. понижается сильнее, ослабевают уже восходящие токи, уносящие ионы; постепенно берут перевес токи нисходящие, направленные к земле, несущие ионы к нижним слоям атмосферы. К тому же, благодаря падению температуры, происходит конденсация паров при том, главным образом, на пылинках, воздух очищается, и атмосфера обогащается легкоподвижными ионами того и другого знака. Число ионов, таким образом, растет к вечеру.

Максимум q (5—7^h р.м.) совпадает по времени с моментом минимума n — и возрастанием уже $n +$ благодаря возникновению нисходящих токов, позднее растет и n —, потому значение q к вечеру падает. Minimum q приходится в период более сильных восходящих токов, это говорит за более быстрое убывание при них $n +$, чем n —. Но, как указано выше, этот minimum постоянного характера не имеет.

Рассмотрев результаты своих наблюдений в Томске, относящиеся к нормальному ходу элементов (E, n, q), я перейду далее к замеченному, хотя бы частично, в Томске влиянию на них метеорологических элементов и факторов. Говорить об абсолютном влиянии одного какого-нибудь метеорологического элемента в отдельности (например, температуры, атмосферного давления, абсолютной и относительной влажности, осадков, солнечной радиации и т. п.) очень трудно, т. к. они всегда комбинируются, и погода является всегда лишь нераздельным их комплексом.

Для полноты обзора необходимо рассмотреть также влияние пыли, дыма, низких облаков и прочих случайных факторов, нарушающих нормальный ход изменения количества ионов ²⁾. Недостаточность наблюдений не дает возможности сделать какие либо решительные выводы, но, в общем, подтверждаются те зависимости между числом ионов и метеорологическими факторами, которые установлены для остальных пунктов земной поверхности.

Зависимость хода $[n]$ от метеорологических элементов и различных факторов.

В Томске параллелизм хода $[n]$ и температуры наблюдался только в утренние часы (с 8^h до 11—12^h а. м.), далее этот параллелизм не замечался. Картина затухает после полудня действием солнечных лучей (восходящие токи, возможное влияние фотоэлектрического эффекта и т. п.). К вечеру падению температуры соответствует уже рост $[n]$, т. к. понижение температуры способствует конвекционному току (направленному к земле) и уменьшению числа ядер адсорбции (подробный разбор всего сказанного — в предыдущих главах).

Зависимость $[n]$ и H (атмосферного давления) — обратная, замечалась, главным образом, во II-ую половину дня. Влияние этих 2-х элементов — давления и температуры разграничить особенно трудно.

¹⁾ Келер „Атмосферное эл-во“ 1923 г. 148 стр.

²⁾ В этом отделе я буду обращать главное внимание не на абсолютное значение величин n, E , а лишь на их дневной ход.

Зависимость $[n]$ и t , N и $[n]$ при переходе от одного дня к другому не замечалось, вследствие сравнительно-ограниченного числа дней наблюдений. Для влажности зависимость еще менее постоянна; часто в дневном ходе максимум абсолютной влажности и больших значений $p+$ вечером близки по времени; иногда есть совпадение минимумов этих величин. Наблюдались отдельные случаи частичного параллелизма хода абсолютной влажности и $p-$. Об относительной влажности говорить еще труднее; в общем, частично чаще замечался обратный ход с $[n]$.

Очевидное влияние оказывали низкие облака, м. б. отчасти своими зарядами, но, главным образом, как преграды воздушным токам, восходящим в дневные часы и уносящим ионы вверх; задерживая ионы у земли, низкие облака повышали значения $[n]$; если же облака рассеивались, то $[n]$ падало.

Так 30/VI отсутствие после полуденного минимума для $p+$ и $p-$ можно объяснить именно присутствием низких облаков (принимая во внимание высокую температуру и циклонический тип погоды, которые способствовали выходу ионизованного почвенного воздуха и эманации).

6/IX нижняя облачность создала в часы восходящих токов скопление положительных ионов, чем объясняется смещение maximum'a $p+$ с 11^h a.m. на 2^h p.m. (нормально от 11^h a.m. к 2^h p.m. д. б. понижение). Поднявшийся после 2-х часов p.m. ветер разогнал облака, значение $p+$ сразу упало, понижение продолжалось до вечера. Максимум q сместился в этот день на 2—3^h p.m.

Зависимость числа ионов от направления ветра не замечено. Ветер уменьшал прозрачность воздуха, поднимая пыль и частицы угля в сухую погоду. При сильном ветре наблюдений делать было нельзя, т. к. не имелось соответствующей защиты.

Присутствие пыли понижало в среднем за день количество $p-$ и $p+$ (хотя для $p-$ днем имел место рост при наличии пыли, может быть, как следствие фотоэлектрического действия солнечных лучей, а также, возможно, потому что при значительном содержании пыли она, будучи заряжена отрицательно, снимала часть положительного заряда электроскопа).

Наличие дыма тоже уменьшало среднее дневное значение $p-$ и $p+$; хотя в дневные часы создавалось иногда повышение количества ионов под влиянием мглы (дыма лесных пожаров), она, подобно низким облакам, задерживала восходящие токи. Дым в утренние часы давал запоздание точек хода.

Так 19/VI при наличии дыма, пыли все крайние значения запоздали часа на 2, характер хода $p+$, $p-$ за день остался нормальным.

Запоздание 1-го максимума $p+$ и $p-$ (на 2 часа) объяснимо вполне с точки зрения случайного скопления ионов, благодаря густой мгле (даже и при слабых восходящих токах). Повышение кривой $p+$, $p-$ шло до момента ослабления дыма (примерно, до 1^h p.m.).

Интересно отметить, что minimum средних значений $p+$, $p-$ за день падает на 23/VI—день с мало-прозрачным воздухом, пылью, дымом лесных пожаров.

День максимума ср. дн. значений $p+$, $p-$ 7/VII отличается чистым прозрачным воздухом. Влияние тумана в Томске не исследовано за отсутствием в период наблюдений дней с туманом. Из отдельных наблюдений замечено, что прошедший непродолжительный дождь, большей частью повышал значение $[n]$ (правда, отдельные исключения были), некоторые частичные отклонения в дневном ходе м. б. отчасти объяснимы влиянием дождя.

Так 30/VI minimum p — 5^h p.m. сгладился м. б. вследствие дождя. 9/VII после прошедшего ночью дождя было аномальное падение p — от утра к 11^h a.m.

Объяснения повышения p — после дождя можно искать в следующем:

1. дождь очищает воздух, делает его более прозрачным, уничтожает пыль, тем увеличивает число легких ионов.

2. Отчасти имеет м. б. место эффект Ленарда ¹⁾ (хотя последнее влияет очень слабо).

О влиянии грозы по нашим Томским наблюдениям никакого заключения дать нельзя, т. к. наблюдение проводилось всего один раз, в начале грозы и только над $p +$. Дальнейшие наблюдения были прерваны ураганом. Для $p +$ получены малые значения.

Измерения после грозы града и ливня дали среднее число ионов и слабую униполярность; наблюдения в Потсдаме при урагане и грозе дали аналогичные результаты ²⁾.

Объяснения частичных аномалий хода (и отклонений) летом 1926 г., как видно из выше приведенных примеров, и приходится искать именно в влиянии некоторых указанных здесь факторов (мгла, низкие облака, пыль, дождь и т. п.). ³⁾

Совершенно отдельно должны быть рассмотрены отклонения в ходе p — $p +$ наблюдавшиеся 9/VII, как зависящие от чисто случайных причин, смещение послеполуденного минимума для p —, $p +$ нуждается в подробном пояснении:

Наблюдения 9/VII производились в саду около окна в подвал, которое было открыто после полудня. Нормальное падение значений p —, $p +$ от 11^h a.m. к полудню (и далее) было прервано в 1^h p.m. и началось повышение значений этих величин.

Объяснения приходится искать в открытии окна в подвал после полудня. Воздух обогатился ионами обоого знака, возможно, благодаря ионизованному воздуху подвала и эманации.

Количество ионов в этот день значительно; положительные преобладают во II-ую часть дня (что вполне естественно, если предлагать влияние воздуха подвала). Правда, ясность погоды и прозрачность воздуха тоже способствовала значительной ионизации атмосферы в этот день.

Максимум q м. б. отнесен к времени вскоре после открытия окна в подвал.

Положительная униполярность воздуха к вечеру постепенно понижалась.

Из всех приведенных данных ясно, что особенностями результатов наших Томских наблюдений являются следующие:

1. Сравнительно малое количество ионов в 1 см³ (хотя порядок E совпадает здесь с порядком этой величины в других местах) и

2. Преобладание, в большинстве случаев, p — над $p +$. Причины этих особенностей приходится, конечно, искать в положении места наблюдений и характере погоды летом 1926 г.

Малое количество ионов может быть следствием недостаточной прозрачности атмосферы, вообще, в городе (при засухе особенно) и

¹⁾ Во время и после выпадения осадков—дождя эффект Ленарда состоит в том, что капли воды при падении разбиваются об препятствия, вода заряжается положительно, и воздух отрицательно. Келер „Атмосф. эл.-во“ 1923 г. ст. 42, 72, 71.

²⁾ Келер. „Атмосф. эл.-во“ 1923 г. ст. 97.

³⁾ Некоторые аномалии я оставляю без объяснения, т. к. затрудняюсь указать их причины.

малой проницаемости почвы в месте наблюдений. Последнее отчасти поясняет и II-ую особенность — преобладание $p-$ над $p+$. Возможно, что преобладание отрицательных ионов при наблюдениях летом 1926 г. в Томске на мет. станции СТИ объясняется отчасти фотоэлектрическим действием солнца на частицы пыли и угля, постоянно почти присутствующие в воздухе близ места наблюдения (Последнее предположение отчасти, как будто бы, подтверждается тем, что при наблюдениях в в палисаднике, где угольных частиц нет, 55% отрицательной униполярности, а при исследованиях на будке станции во дворе 63%).

По мнению Келера, — „фотоэлектрическое действие солнечных лучей можно вполне привлечь для объяснения преобладания $p-$ у земной поверхности в полдень“¹⁾

Может быть, свое искажающее влияние оказывает булыжник²⁾, которым вымощен двор, известковая облицовка зданий и отчасти их каменный гранитный фундамент; действие солнечных лучей на гранит и известковый шпат (CaCO_3) и т. п. указано выше. Но нельзя все-же всецело базироваться на фотоэлектрическом действии солнечных лучей при объяснении преобладания в наших наблюдениях $p-$, м. б. отчасти имеет место действие самих частиц пыли, которые ветром поднимаются с земли и, будучи отрицательно заряженными, могут несколько разряжать положительно заряженный электроскоп.

Результат, указывающий на преобладание отрицательных ионов, возможно, нуждается в подтверждении.

Resumé

Опыт подсчета ионов при помощи аспирационного прибора Эберта, проведенный мною летом 1926 г. на метеорологической станции СТИ в г. Томске, показал, что атмосферный воздух был сравнительно мало ионизован.

В среднем: $p+ = 190$ $p- = 231$ $q \cong 1$ при $\epsilon = 4.77.10^{-10}$ ESE

Следовательно, $p-$ превалировало над $p+$, причину этого приходится искать главным образом, вероятно, в местных условиях и особенностях погоды лета 1926 года.

В результате работы наметился некоторый нормальный ход:

Для $p+$ с повышением к 11^h a.m. и к вечеру, с минимумом в 2^h — 3^h p.m.;

Для $p-$ тоже с повышением к 11^h a.m. и к вечеру, с минимумом в 5^h — 6^h p.m.

Максимум q наблюдался, большей частью, в 5^h — 6^h p.m.

Отмечено отклонение хода $[n]$ от нормального, главным образом, под влиянием низких облаков, мглы, пыли, отчасти же от непродолжительного дождя. Зависимость $[n]$ от грозы, направления ветра не исследовано.

Наблюдений, как при сильном ветре, так и при обложных дождях не было, вследствие отсутствия защиты.

Заканчивая работу считаю долгом благодарить проф. И. А. Соколова за предоставленную возможность провести наблюдения на метеорологической станции СТИ, а также за советы, руководство и редакционные изменения работы, проф. П. Н. Тверского за просмотр работы и ценные указания, преподавателя М. П. Орлову за участие в подготовке части к исследованиям.

¹⁾ Келер „Атмосф. эл-во“ 1923 г.

²⁾ „Булыжник“ — обломки горных пород преимущественно гранита и известковых пород

1926 г.

Наблюдения на метеорологической будке станции СТИ

Таблица 1.

Дата	Ч А С Ы	$P + 1 \text{ см}^3$	$P - 1 \text{ см}^3$	$E + 1 \text{ м}^3$	$E - 1 \text{ м}^3$	q	T_c°	Нотп	Относ. влажн. %	Абсолютн. влажн. мм	Направление и скорость ветра м/сек	Облака	Примечания	Замечка о погоде и условиях наблюдения
4/VI	10 ^h —11 ^h a.m. 11 ^h —12 ^h " " 12 ^h —1 ^h p.m. 5 ^h —6 ^h p.m. 9 ^h —20 ^m p.m.	97 256 217 63		0,05 0,122 0,109 0,03			17,0 18,0 18,3 13,2	745,5 746,0	46 40 77			1 cu	$\infty 3$	С 1 го наблюдения (7 ^h am) падение барометра, продолжавшееся и последующий день — перефидрия циклона. В 5 ^h pm прибор резко освещен солнцем.
5/VI	12 ^h —1 ^h p.m. 9 ^h —20 ^m p.m.	197		0,09			16,2	744,5 745,0	60		0	10 высок.	$\infty 2_2$ (8 ^h —9 ^h am) (12 ^h —1 ^h pm)	
6/VI	1 ^h —2 ^h p.m.	160		0,08			13,9	742,0	92			10 Ni	● п. р. а.	День пасмурный, дождь до 11-го наблюдения. Деревья за ночь начали растрескиваться.
16/VI	10 ^h —10 ^{1/2} h a.m. 10 ^{1/2} h—11 ^h " 11 ^h ^{1/4} —11 ^{1/2} h a.m. 11 ^{1/2} h—12 ^h a.m. 2 ^{1/4} h—2 ^{1/2} h p.m. 2 ^{3/4} h—3 ^h " 6 ^h —6 ^{1/3} h " 6 ^{1/2} h—7 ^h " 9 ^h " 9 ^h —9 ^{1/2} h "	98 239 98 208 136 63 160 97	239 321 208 136 160 321	0,046 0,153 0,1 0,064 0,03 0,08 0,05	0,114 0,153 0,4 0,67 0,5 16,9 0,08 1,0 0,30	0,4 16,0 16,9 746,5 746,6	8 8 1 cu 1 5 0 1	19,2 746,5 746,6	58 69 9,6 9,5	реальные порывы	0 5 0 1	0 1 0 1	$\Delta 3; \infty$	Погода ясная, с малой облачностью, как и в предыдущие дни. Наблюдается постепенное повышение барометра, но положение его не высоко. С 8 VI сильная засуха. 16 VI, как и в ближайшие дни, наблюдается сильный сухой туман, дым лесных пожаров.
7/VI	8 ^h —9 ^h a.m. 2 ^h —3 ^h p.m. 9 ^h —10 ^h "	166 120 163		0,079 0,057 0,076			9,0 13,9 11,0	746,2 745,7 744,0	80		WNW WSW 20	2 A—cu 6 St, ci—St 3 A—St, St		Погода ясная, воздух прозрачен
19/VI	9 ^{1/2} h—10 ^h a.m. 10 ^h —10 ^{1/3} h " 1 ^h —1 ^{1/3} p.m. 1 ^h ²⁵ —1 ^{3/4} h p.m. 5 ^h ^{1/3} —5 ^{2/3} h " 5 ^{2/3} h—6 ^h " 8 ^{2/3} h—9 ^h " 9 ^h —9 ^{1/3} "	197 321 267 80 321 107	223 321 80 321	0,09 0,127 0,04 0,051	0,11 0,153 0,04 0,153	0,88 0,83 1,0 0,33	21,9 24,2 24,8 20,2	746,7 745,0 746,0	67 64 66 75	13,0 14,3 15,3 13,2	0 до 20 слабее 4	0 1 0 10 (?)	↑, пыль а ↑ ² , пыль ∞ 1 ∞ ²	Положение барометра устойчивое, погода антициклонического типа, температура высокая, тахипит ее в 5 ^h pm. Как и в предыдущие дни, дым лесных пожаров, пыль в дневные часы (засуха). Особенно силен сухой туман утром (7 ^h am) и вечером, к 12 ^h дня он несколько рассеялся. Воздух мало прозрачен.

Таблица II.

