

К МАТЕМАТИКО—СТАТИСТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКЕ ПРОВЕРКИ  
БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ И ПРАКТИЧЕСКОЙ  
ПОЛЕЗНОСТИ АЭРОИОНИЗАЦИИ

Х.ф. Таммет

Введение

Нет единого мнения относительно биологического действия и практической полезности аэроионизации. Один из основоположников учения о применении аэроионов А.Л. Чижевский [1] пропагандировал всеобщую аэроионификацию. Он и его последователи утверждают, что искусственная аэроионизация существенно повышает физическую и умственную работоспособность людей, а ее полезное действие на животных и растения может обеспечить в сельском хозяйстве повышение производительности на 10 и более процентов. Другие исследователи придерживаются скромной позиции и критикуют предложение всеобщей аэроионификации как малообоснованное. Наиболее признанный авторитет в области применения аэроионов в медицине Л.Л. Васильев и его последователи рекомендуют осторожное применение аэроионов для лечения ограниченного числа болезней. Наконец, многие медики, не связанные с исследованиями по аэроионизации, вообще скептически относятся к полезности аэроионов в лечебной практике.

Если последователи А.Л. Чижевского правы, то налицо большой эффект в здравоохранении и огромная материальная прибыль за счет незначительных расходов на производство и установку аэроионизаторов. Проблема столь большого практического значения заслуживает серьезного внимания.

Наши знания об эффективности аэроионизации нельзя признать удовлетворительными. Механизм действия аэроионов на организм неясен. Гипотетические механизмы, которые обсуждаются в работах [2, 3, 4], не доходят до уровня физического процесса действия аэроионов и не позволяют объяснить все описываемые эффекты, например, действие аэроионизации на растения [5]. Однако, не это самое уязвимое место гипотезы о практической полезности аэроионизации, поскольку нельзя возразить высказыванию Л.Л. Васильева [2]: "Недостаточность теоретических представлений об интимной природе воздействия какого-либо лечебного фактора не должна быть, однако, препятствием к практическому его применению, если оно дает ощутимые терапевтические результаты". Для автора настоящей статьи наиболее уязвимым представляется отсутствие бесспорных доказательств, которые могли бы окончательно убедить всю научную общественность в биологической эффективности и практической полезности аэроионизации. Трудно согласиться с точкой зрения Л.Л. Васильева, высказанной им в книге, посвященной другой спорной проблеме [6]. Поскольку многие исследователи медико-биологических применений аэроионов придерживаются схожей точки зрения, приведем упомянутое высказывание: "Мне неоднократно приходилось слышать следующее заявление критиков: "Дайте сперва окончательное, обязательное для всех и каждого, доказательство реальности мысленного внушения, а потом уже изучайте и описывайте его свойства, его физическую природу и проч.". Можно предвидеть, что такое же возражение будет сделано и по поводу этой книжки. С таким возражением автор согласиться не может: это не ускорит, а задержит исследование вопроса.

Пусть любая серия опытов из приведенных мною, взятая в отдельности, недостаточна для установления факта мысленного внушения, но все серии опытов в своей совокупности, особенно современные количественные опыты, делают существование мысленного внушения в высокой степени вероятным. Этого достаточно, чтобы не дожидаясь признания всех и каждого, ставить дальнейшие исследования этого явления так, как будто бы его реальное существование уже было окончательно установлено."

Для достоверности доказательства существования эффекта исключительно важна методика эксперимента или наблюдений, в особенности, используемая математико-статистическая модель. В настоящей статье предлагается конкретная математико-статистическая методика эксперимента, обеспечивающая повыше-

ную чувствительность по сравнению с обычными двухгрупповыми экспериментами. Эта методика допускает модифицирование и усовершенствование, она не претендует на универсальность и подходит только к ограниченному классу экспериментов. Однако, автор надеется, что именно здесь можно ставить наиболее понятные и убедительные эксперименты.

#### Методика эксперимента

Предположим, что у нас имеется некоторое количество биологических индивидов, которые могут быть подвергнуты или не подвергнуты действию аэрозонов, и мы можем измерить у каждого индивида некоторый количественный показатель  $x$ , предположительно зависящий от воздействия аэрозонов.

Как известно, аэрозоны не дают какой-то специфической реакции организма, которая не могла бы быть вызвана другими факторами. Поскольку изолирование подопытных организмов от иных воздействий невозможно, то компенсация их эффекта является основной проблемой. Для компенсации сторонних эффектов рассматриваются две группы подопытных А и В. Эти группы должны быть по возможности одинаковы и должны подвергаться одинаковым внешним воздействиям, за исключением действия аэрозонов.

В классической схеме двухгруппового эксперимента действию аэрозонов подвергается лишь одна группа, а другая рассматривается как контрольная. Эффект аэрозонов оценивается по разности арифметических средних измеряемого показателя между группами. Эта разность сравнивается со стандартным отклонением (критерий Стьюдента). Недостатком классической схемы является низкая чувствительность к эффекту. Чтобы убедиться в изложенном, представим следующее. Пусть действие аэрозонов у каждого индивида вызывает одинаковый весьма малый рост измеряемого показателя  $\Delta x$ . Если такой рост систематически наблюдается у каждого индивида, то мы можем быть уверенными в существовании эффекта. Однако, если рассеивание уровней показателя  $x$  между индивидами достаточно велико, то эксперимент по классической двухгрупповой схеме эффекта не обнаруживает — сдвиг арифметических средних уступает стандартному отклонению. Систематические индивидуальные сдвиги здесь неопределимы.

Для повышения чувствительности эксперимент необходимо разделить на две части, меняя роли экспериментальной и контрольной групп, что дает возможность наблюдать индивидуальные

сдвиги. Однако, на результаты эксперимента могут воздействовать посторонние факторы, зависящие от времени. Такие факторы нередко имеют периодический недельный ход, что позволяет компенсировать их действие, распределив эксперимент на две недели и производя его в разные недели "в противофазе". Можно предложить, например, следующую схему (см. табл. I).

Схема эксперимента

Таблица I

Номер опыта	Неделя	День недели	Действие аэроионов	
			группа А	группа В
1	I	а	есть	нет
2	I	б	нет	есть
3	I	в	есть	нет
4	2	а	нет	есть
5	2	б	есть	нет
6	2	в	нет	есть

При работе с людьми особую роль имеет психологический фактор, не компенсируемый ни при какой схеме эксперимента. Поэтому конкретная схема эксперимента должна быть неизвестна как для испытуемых, так и для персонала, непосредственно с ними общающегося.

Перейдем к математической модели эксперимента по предложенной схеме.

Представим генеральную совокупность индивидов, участвующих во всевозможных повторных экспериментах, проводимых в таких же условиях, и рассмотрим конкретный контингент индивидов, как случайную выборку из этой совокупности.

Обозначим результат  $k$ -того измерения для  $i$ -того индивида генеральной совокупности через  $x_i^k$ . Если индивид подвержен действию искусственной аэроионизации, то  $x_i^k$  можно разложить на четыре слагаемые:

$c_i$  - постоянная для каждого индивида слагаемая, которая отражает индивидуальность конкретного индивида,

$\delta_i$  - гипотетический стимулирующий эффект аэроионов,

$\varphi_i^k$  - эффект, зависящий от дня недели,

$\psi_i^k$  - случайный эффект всех остальных факторов.

Если искусственная аэроионизация выключена, то второе слагаемое отпадает и остается три слагаемых.

Вычислим величину

$$X_i = x_i^1 - x_i^2 + x_i^3 - x_i^4 + x_i^5 - x_i^6 .$$

При этом слагаемые  $c_i$  взаимно уничтожаются. В случае схемы табл. I компенсируются также эффекты  $\psi_i^k$ , а эффекты  $\delta_i$  слагаются в сумму  $3\delta_i$  для группы А или в сумму  $-3\delta_i$  для группы В. В результате

$$X_i = \psi_i^z \pm 3\delta_i ,$$

где

$$\psi_i^z = \psi_i^1 - \psi_i^2 + \psi_i^3 - \psi_i^4 + \psi_i^5 - \psi_i^6 .$$

Обозначим средние значения величин  $X_i$ ,  $\delta_i$  и  $\psi_i^z$  по генеральной совокупности через  $\bar{X}$ ,  $\bar{\delta}$  и  $\bar{\psi}$ . Тогда  $\bar{X} = \bar{\psi} \pm 3\bar{\delta}$ .

По причине знакопеременности суммы  $\psi_i^z$  среднее значение  $\bar{\psi}$  весьма мало.

Теперь рассмотрим отдельно группы с режимом аэроионизации по схеме группы А и по схеме группы В и обозначим средние значения  $\bar{X}$  и  $\bar{\psi}$  для этих групп через  $\bar{X}_A$ ,  $\bar{X}_B$  и  $\bar{\psi}_A$ ,  $\bar{\psi}_B$ . Тогда

$$\bar{X}_A = \bar{\psi}_A + 3\bar{\delta}$$

$$\bar{X}_B = \bar{\psi}_B - 3\bar{\delta}$$

откуда

$$\bar{X}_A - \bar{X}_B = 6\bar{\delta} + (\bar{\psi}_A - \bar{\psi}_B) .$$

Поскольку условия в группах А и В, исключая действие аэроионов, примерно одинаковы, то можно предположить, что

$$\bar{\psi}_A \approx \bar{\psi}_B .$$

Если допустить

$$\bar{\psi}_A - \bar{\psi}_B = 0 , \quad (I)$$

то

$$\bar{\delta} = (\bar{X}_A - \bar{X}_B)/6 . \quad (2)$$

Наше отношение к допущению (I) зависит от того, обнаруживается существенная разница между значениями  $\bar{X}_A$  и  $\bar{X}_B$  или нет. Если таковая обнаруживается, то допущение (I) требует дополнительного исследования, разница  $\bar{X}_A - \bar{X}_B$  может быть обусловлена либо эффектом  $\bar{\delta}$ , либо эффектом  $\bar{\psi}_B - \bar{\psi}_A$ . В противном случае можно принять одновременно  $\bar{\delta} = 0$  и  $\bar{\psi}_B = \bar{\psi}_A$ , пренебрегая маловероятную возможность взаимной компенсации эффектов.

Компенсация сторонних влияний, математически выражаемая допущением (I), при настоящей схеме эксперимента представлена более полно по сравнению с классическим двухгрупповым экспериментом.

При обработке наблюдений сначала вычисляются значения  $X_i$  для всех испытуемых, а затем оценки средних значений  $\bar{X}_A$ ,  $\bar{X}_B$

и стандартных отклонений  $\sigma_A$ ,  $\sigma_B$  по рядам  $X_i$ ; для обеих групп, что дает возможность проверки нулевой гипотезы

$$\bar{X}_A = \bar{X}_B$$

с помощью критерия Стьюдента. Если нулевая гипотеза отвергается, то за оценку стимулирующего действия аэроионов принимается величина

$$\bar{\delta} = (\bar{X}_A - \bar{X}_B) / \sigma,$$

где  $\bar{X}_A$  и  $\bar{X}_B$  оценки средних значений  $X_A$  и  $X_B$  (арифметические средние). Сдвиг  $\bar{\delta}$  можно сравнить со стандартным отклонением рассеивания между испытуемыми.

Если нулевая гипотеза по причине малости сдвига не отвергается, то критерий Стьюдента позволяет определить гипотетический сдвиг, который находился бы на грани допускающей отвержение нулевой гипотезы. Такой критический сдвиг описывает чувствительность конкретного эксперимента и позволяет изложить количественный результат также в случае неудачи обнаружения эффекта.

#### Проверка методики

Реальная действительность сложна и все ее особенности нельзя учесть ни в одной математической модели. В отдельных случаях это может свести на нет практическую ценность также теоретически хорошо обоснованной модели. Математическая схема эксперимента может быть окончательно принята или отвергнута только после ее проверки в реальных условиях.

Для практической проверки описанной выше методики эксперимента в реальных условиях были проведены наблюдения утомленности учеников в зависимости от режима аэроионизации в двух параллельных четвертых классах 42-ой средней школы города Таллина. Оба класса занимались по единой специальной программе с углубленным изучением иностранного языка. Время эксперимента — конец апреля. Рассматриваемые классы занимались во вторую смену, уроки начинались в 14 часов и измерения проводились во второй половине школьного дня. Повышенная учебная нагрузка, время года, режим учебной работы и время измерений соответствуют условиям максимального утомления школьников.

При выборе измеряемого показателя  $X$ , учитывались соображения А.А. Минха [7], который, при описании действия отрицательных аэроионов на здоровый организм, подчеркивает повышение физической и умственной работоспособности и профилактику утомления. Показателем работоспособности и подавления

утомления был выбран результат корректурного теста, который зависит от внимательности и скорости чтения последовательности случайно упорядоченных букв. Такая мера работоспособности соответствует специфике подошного контингента. Испытуемый получает лист бумаги, на котором каждая из 15 использованных букв повторяется в общей случайной последовательности 100 раз. Листы распределяются обратной стороной. После сообщения выбранной буквы теста и сигнала начала испытуемый переворачивает лист и вычеркивает буквы теста по порядку в течение 3-х минут. Для определения баллов показателя из количества правильно вычеркнутых букв вычитается количество пропусков и количество ошибочно вычеркнутых букв.

Корректурный тест известен в психологических исследованиях. Однако, настоящая работа не ставит никаких психологических задач, и здесь результат теста следует рассматривать только как некоторую комплексную меру специфической работоспособности школьников. Следует также отметить, что описываемый конкретный эксперимент не ставит перед собой никаких общих медико-биологических задач и должен быть рассмотрен только как практическая проверка предложенной математической схемы эксперимента.

Метод создания аэроионов описан в работе [8]. Классы занимались в одинаковых помещениях, расположенных на третьем этаже, окна помещений выходят на одну сторону. Приблизительные размеры каждого помещения: длина 8,25 м, ширина 6 м и высота 3,5 м. Вдоль обоих помещений были натянуты по две антенны из проволоки диаметром 0,2 мм. К антеннам прикреплены свисающие проволоки диаметром 0,1 мм и длиной около 10 см, обеспечивающие стабильную аэроионизацию в условиях относительно низкого напряжения питания антенн. Расстояние от острий проволочек до потолка около 50 см.

Имелась возможность оставлять антенны изолированными от источника питания или подавать на них отрицательное напряжение около 10 кВ. В первом случае в помещении — естественный фон аэроионов. Во втором случае создается униполярная отрицательная аэроионизация. Теоретическая оценка по методу [9] концентрации аэроионов на высоте головы сидящего ученика дает при допущении отсутствия аэрозольных частиц результат немного выше  $50000 \text{ см}^{-3}$ . Измерение проводилось только при отсутствии в помещении людей и дало результат около  $50000 \text{ см}^{-3}$ . При наличии в помещении людей концентрация легких аэроионов,

предполагаемо, должна быть несколько меньше, по причине повышения концентрации аэрозольных частиц и образования тяжелых аэрозонов [8]. При проведении описываемого эксперимента не было поставлено цели определения точных значений концентрации легких аэрозонов, поскольку проверялось не биологическое действие легких аэрозонов, а практическая полезность реального способа аэроионизации.

Концентрация озона и других химических продуктов коронного разряда, по полуэмпирической оценке [8], приблизительно в 10 раз ниже порога ощущения по запаху и является допустимой. Концентрация аэрозонов не превышает рекомендуемой авторитетными специалистами концентрации для гигиенических и профилактических целей и поэтому настоящий эксперимент с точки зрения медицины может быть квалифицирован как наблюдения в условиях использования рекомендованной профилактической меры. Дозы аэрозонов в эксперименте меньше тех доз, которые обычно признаются эффективными в аэроионотерапии, но выше тех доз, которые обычно признаются эффективными в курортологии.

Эксперимент был проведен строго по табл. 1. Дополнительные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Конкретные данные к схеме эксперимента

Номер опыта	Дата	День в недели	Время теста	Буква теста	Аэроионизация в классе
1	18.04.77	Пн.	17.45	Е	А
2	19.04.77	Вт.	17.25	В	В
3	20.04.77	Ср.	18.35	Н	А
4	25.04.77	Пн.	17.45	Е	В
5	26.04.77	Вт.	17.25	В	А
6	27.04.77	Ср.	18.35	Н	В

Искусственная аэроионизация, согласно схеме, включалась каждый день примерно в 13.45, то есть перед первым уроком, и отключалась после последнего урока.

До конца эксперимента схему включения аэроионизации знал лишь автор настоящей статьи, который лично выполнял все переключения режима аэроионизации. Тесты проводила по заранее определенному плану сотрудница кафедры физики ТШедИ В.Рейсмандель, не имея при этом никаких сведений о режиме аэроионизации. Тесты предлагались испытуемым как соревнование на внимательность, и быстроту с индивидуальным и межклассовым



учетом и выполнялись очень старательно. Для уменьшения фактора привыкания проволочные антенны, едва заметные под потолком, были установлены за неделю до начала эксперимента. 12.04.77 и 13.04.77 были проведены также предварительные тесты, оставшиеся непроверенными.

Математическая обработка полученных данных дала следующие результаты:

1. Гипотеза о нормальном распределении оценок тестов не отвергается.

2. Оценка среднего результата всех 6 тестов как в классе А, так и в классе В  $\approx 50$  баллов из 100 возможных, что свидетельствует об удачной посильности теста и о равенстве контингентов параллельных классов.

3. Стандартное отклонение результатов между испытуемыми  $\sigma_0 \approx 16$ .

4. Количество учеников, оценки средних значений и стандартных отклонений следующие:

$$\begin{array}{rcl} n_A = 16 & \bar{X}_A = -6,31 & \lambda_A = 12,9 \\ n_B = 25 & \bar{X}_B = -4,12 & \lambda_B = 15,9 \end{array}$$

и соответствующая оценка стимулирующего эффекта аэроионов  $\bar{\delta} = -0,36 \approx -\sigma_0/45$ .

5. Абсолютное значение критерия Стьюдента по вышеприведенным данным  $t = 0,46$ , что не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу, отрицающую действие аэроионов, даже при 50% уровне значимости.

6. На 90% уровне доверительности можно заключить, что стимулирующее действие аэроионов в описанных наблюдениях не превышает 0,66 баллов или  $\sigma_0/25$ .

7. На 99% уровне доверительности то же самое можно заключить относительно границы 1,55 баллов или  $\sigma_0/10$ .

Полученные результаты согласуются с известным результатом Б.Б. Койранского и др. [10]. Преимущество предлагаемой математико-статистической методики выражается здесь еще в том, что настоящая методика дает количественный результат также в случае, если эффект аэроионизации не обнаруживается, и позволяет избежать необоснованное полное отрицание эффективности аэроионизации.

#### Выводы

1. Убедительность экспериментов по доказательству гипотезы, согласно которой аэроионы оказывают существенное действие на живые организмы и искусственная аэроионизация может

дать большую практическую пользу, зависит от математико-статистической методики эксперимента.

2. Для повышения чувствительности эксперимента и подавления сторонних влияний желательно попеременно менять роли контрольной и экспериментальной групп, а математико-статистический анализ основать на вычислении индивидуальных эффектов. Пример конкретной схемы такого эксперимента представлен в табл. I.

3. Наблюдения, в которых проверялось гипотетическое повышение работоспособности и противодействие утомлению школьников относительно слабой униполярной отрицательной аэроионизации, показали с 90% достоверностью, что такой эффект, если он вообще существует, в условиях конкретного эксперимента не превышал 4% стандартного отклонения, описывающего расхождения между школьниками одного и того же класса. Этот результат не может служить основой каких-нибудь общих медико-биологических выводов и рассматривается только как пример реальной чувствительности предлагаемой методики.

4. Малость сдвига в проведенном эксперименте убеждает в том, что предлагаемая методика действительно нечувствительна к сторонним влияниям.

Автор выражает благодарность В. Рийсманделю за проведение и проверку тестов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Чижевский А.Л. Аэроионизация в народном хозяйстве. М., 1960, 758 с.
2. Васильев Л.Л. Теория и практика лечения ионизированным воздухом. Л., 1953, 191 с.
3. Krueger A.P., Reed E.J. Biological impact of small air ions. - Science, 1976, v. 193, p. 1209-1213.
4. Минх А.А., Шандала М.Г., Думанский Ю.Д. Механизмы биологического действия ионизированного воздуха. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электро-магнитных полей и ионизации воздуха. Т. 2. М., 1975, с. 176-186.
5. Сийрде Э.К., Йентс А.В., Рейнет Я.Ю. Изменение некоторых показателей роста растений под влиянием чрезмерной ионизации. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. Т. 2, М., 1975, с. 203-204.

6. Васильев Л.Л. Экспериментальные исследования мысленного внушения. Л., 1962, 198 с.
7. Минх А.А. Ионизация воздуха и ее гигиеническое значение. М., 1963, 352 с.
8. Таммет Х.Ф., Сальм Я.И. Ионизирование воздуха больших помещений посредством проволочных антенн, питаемых аппаратом для франклинизации. - В кн.: Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, с. 237-240.
9. Таммет Х.Ф. Вольтамперные характеристики идеальной униполярной квазикороны. - Учен. зап. Тартуск. гос. ун-та, вып. 239, Тарту, 1969, с. 3-40.
10. Койранский Б.Б., Уквольберг Л.Я., Дмитриев М.В. Влияние аэроионизации на работающий организм. - В кн.: Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, с. 82-87.

ON THE TECHNIQUE OF TESTING STATISTICAL HYPOTHESES  
OF BIOLOGICAL IMPACT AND UTILITY OF AIR IONIZATION

H. Tammet

S u m m a r y

The hypothesis according to which air ions exercise a significant influence on living organisms cannot be regarded as adequately proved. The present report describes an advanced technique for testing the statistical hypothesis of the utility of air ionization in classrooms. In the check experiment the effect of air ions (having a concentration of about 50000 ions/cm<sup>3</sup>) was studied on the tiring of pupils during a school day. Despite the fact that the experimental design ensured maximum sensitivity of subjects, the experimenter did not succeed in proving the existence of any significant effect. On the basis of a 90-percent significance level it can be stated that the hypothetic effect did not exceed 0.04 part of the standard deviation among the pupils within one and the same form. To clarify the problem, similar investigations have to be carried out with various subjects under various conditions.