

Ю.В. Шаманский

## Зависимость напряженности электрического поля атмосферы в Иркутске от аэрозольного загрязнения

*Иркутский государственный университет*

Поступила в редакцию 29.01.2003 г.

Приводятся результаты исследования статистической связи напряженности электрического поля атмосферы с направлением и скоростью ветра, с концентрацией аэрозоля, метеорологической дальностью видимости в г. Иркутске. Связь напряженности поля с направлением и скоростью ветра представлена в виде изолиний трехмерной регрессии. Наибольшая изменчивость электрического поля от направления ветра отмечается при малых скоростях ветра, а при больших скоростях изменчивость незначительна, что объясняется интенсивным турбулентным перемешиванием и очищением атмосферы от примесей. Получена обратная зависимость между концентрацией пыли и напряженностью электрического поля, проявляющаяся как для среднемесячных, так и среднесуточных значений. Рост концентрации пыли приводит к увеличению электропроводности воздуха. Уменьшение напряженности поля и увеличение электропроводности с ростом концентрации пыли объясняются естественной радиоактивностью почвенной пыли и золой угля, используемого для отопления. Зависимость электрического поля от метеорологической дальности видимости аппроксимируется обратной линейной зависимостью.

Все атмосферно-электрические характеристики – электрическая проводимость воздуха, напряженность электрического поля и ток проводимости атмосферы – «чувствительны» к аэрозольным примесям в атмосфере. Почти все аэрозоли в силу различных причин электрически заряжены либо своим присутствием уменьшают электропроводность воздуха, снижая подвижность атмосферных ионов. С другой стороны, электрические параметры атмосферы воздействуют на аэрозоли, перемещая их в пространстве и создавая конгломераты, изменяют их размеры и участвуют в преобразовании химической структуры. Многие аэрозоли в атмосфере обязаны своим происхождением атмосферным ионам, например конденсация и сублимация водяного пара на ионах, понижающих упругость насыщения пара над зародышевой каплей. Вопросам влияния метеорологических факторов на атмосферно-электрические характеристики посвящен ряд работ [1, 2].

Дальнейшее исследование связи градиента потенциала электрического поля атмосферы с ионизационным состоянием и метеорологическими явлениями локальных и глобальных масштабов может оказаться полезным при моделировании физических процессов в атмосфере, индикации загрязненности атмосферы и т.д. Метеорологические и атмосферно-электрические параметры оказывают влияние на физиологическое состояние человека, поэтому при изучении их воздействия необходимо разделять связанные между собой электрические характеристики атмосферы и метеорологические факторы. На локальное изменение напряженности электрического поля метеорологические параметры оказывают либо прямое воздействие, как, например, заряд облаков, либо косвенное, способствующее изменению и перемешиванию объемных зарядов в атмосфере и изменению проводимости воздуха.

Атмосферный воздух г. Иркутска сильно загрязнен как газовыми, так и твердыми примесями: пылью и сажей. В городе имеется несколько крупных ТЭЦ, многочисленные котельные и жилые массивы с печным отоплением. В значительной степени высокое загрязнение воздуха связано с большой повторяемостью метеорологических условий, неблагоприятных для рассеивания примесей. Иркутск находится на территории, где зимой получает максимальной разви-

тие сибирский антициклон с мощными инверсиями температуры и слабыми ветрами, а источники выбросов в основном низкие (менее 20 м) и составляют около 90% всех источников. Летом запыленность воздуха определяется в основном почвенной пылью. Для ТЭЦ, котельных и печного отопления частного сектора используется уголь Черемховского бассейна, имеющий очень большую зольность. В составе золы и шлака содержится достаточно большое количество радионуклидов. В районах с индивидуальной застройкой зола обычно используется для отсыпки дорог. По измерениям автора, на некоторых улицах  $\gamma$ -радиоактивный фон вблизи свалки шлака увеличивается в 3 раза.

Исходным для исследования материалом послужили результаты регистрации напряженности электрического поля в Иркутской гидрометеорологической обсерватории (ГМО) за 5 лет, среднечасовые значения направления и скорости ветра и результаты наблюдений в основные синоптические сроки, а также измерения концентрации пыли в воздухе.

Зависимость напряженности электрического поля от направления ветра для трех пунктов наблюдения за атмосферным электричеством представлена в работе [2] в виде таблиц средних значений. Для пунктов, расположенных в сельской местности, напряженность электрического поля не зависит от направления ветра, а для Иркутской гидрометеорологической обсерватории, находящейся в центре города, эта связь проявляется очень четко. Наибольшие значения напряженности поля для теплого периода (30 дВ/м) связаны с восточными румбами, а наименьшие – с западными (9 дВ/м). В зимнее время при восточных направлениях напряженность доходит до 69 дВ/м. Такая зависимость напряженности электрического поля от направления ветра объясняется взаимным расположением пункта регистрации электрического поля и источниками локального загрязнения воздуха при различных направлениях ветра.

Однако условия загрязнения определяются также скоростью ветра, так как изменяются объем перемешиваемого воздуха и приземная концентрация аэрозолей от различных источников выбросов. При сильных ветрах аэрозоли распространяются на большие расстояния от мест выбросов. Но имеется некоторая промежуточная скорость ветра, при которой факел от высоких источников выброса опускается к зем-

ле и формируется повышенный уровень концентрации. Это значение «опасной» скорости зависит от параметров источника выбросов: высоты и температуры выброса, а также стратификации атмосферы. Обычно максимум концентрации создается на расстоянии, кратном 10–20 высотам источника выброса. Поэтому более полной и наглядной связью может быть представлена в виде трехмерной регрессии (рис. 1), где изоплетами представлены значения напряженности электрического поля как функции двух переменных – направления и скорости ветра.

Шкала скорости ветра представлена в виде окружностей, проведенных через интервал 1 м/с. Центральной части круга соответствует штиль. Значения напряженности электрического поля усреднены для интервалов скорости 1 м/с и по 16 румбам направления ветра. По полученным средним значениям проведены изолинии напряженности электрического поля.

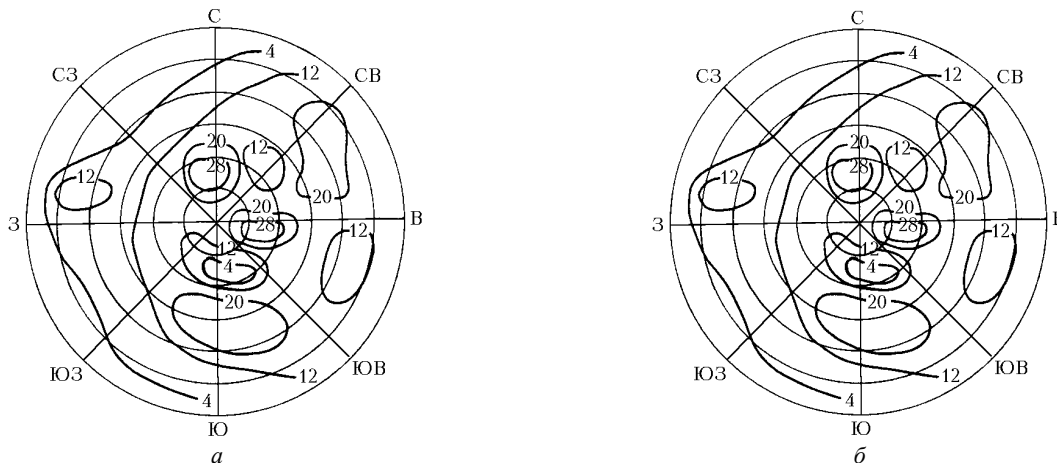


Рис. 1. Изоплеты напряженности электрического поля при различных направлениях и скорости ветра: а – июль; б – январь (шкала скорости ветра – 1 м/с; напряженность поля в дВ/м)

Распределение напряженности электрического поля по направлениям и скорости ветра указывает на сложный характер связи. При малых скоростях ветра наблюдается наибольшая изменчивость в зависимости от направления. При скорости 1–2 м/с турбулентное перемешивание незначительное, поэтому пыль, дым и другие промышленные выбросы, представляющие собой заряженные аэрозоли, значительно изменяют напряженность электрического поля. Это особенно заметно в зимнее время при антициклонной погоде с мощной термической инверсией, в задерживающем слое которой скапливается значительное количество аэрозолей. В июле при скорости 1–2 м/с значения поля изменяются от 12 до –4 дВ/м с изменением направления с северного на южное, а зимой с 28 до 4 дВ/м. При скорости 4–6 м/с турбулентное перемешивание приводит к очищению воздуха и напряженность поля в меньшей мере зависит от направления ветра.

Большие скорости ветра северо-западных направлений соответствуют неустойчивой погоде с кучево-дождевой облачностью, имеющей значительный электрический заряд и изменяющей направление градиента потенциала. При слабых ветрах 2–3 м/с южного направления происходит уменьшение напряженности поля со сменой градиента на отрицательный до 4 дВ/м зимой и –4 дВ/м летом. Такое понижение связано с линией высоковольтного напряжения, проходящей южнее ГМО. ЛЭП создает отрицательный объемный заряд, особенно значительный при наличии атмосферной дымки. Подобное объяснение дается в монографии [3]. Это явление связано с тем, что порог коронного разряда для отрицательно заряженного провода ниже, чем для положительного. Таким образом, за период переменного тока в ЛЭП с коронирующего провода поступит больше отрицательных зарядов в атмосферу.

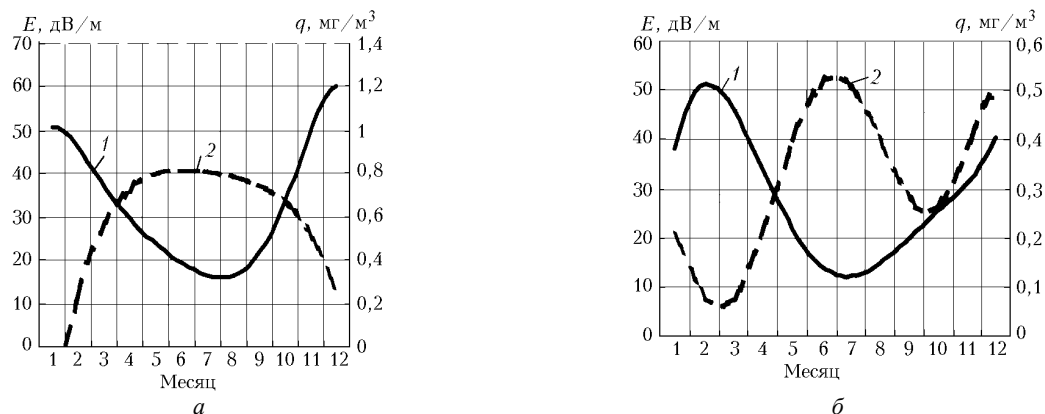


Рис. 2. Годовые вариации напряженности электрического поля (1) и концентрации пыли (2) в Иркутске: а – 1974; б – 1979 г.

Для непосредственного исследования влияния аэрозолей на значения напряженности электрического поля были использованы среднесуточные и среднеемесячные данные

по концентрации пыли для Иркутской ГМО за 1974 и 1979 гг. На рис. 2 приведены сглаженные вариации среднеемесячных значений, из которых следует, что величины

изменяются в противофазах. Коэффициенты парной корреляции соответственно равны  $-0,66$  и  $-0,71$ . Полученные результаты находятся в противоречии с известными литературными данными [1,3]: запыленность воздуха приводит к росту напряженности из-за снижения проводимости воздуха, так как концентрация легких ионов снижается из-за прилипания к аэрозолям.

Электрическая проводимость воздуха определяется в основном концентрацией легких ионов, и в соответствии с законом Ома уменьшение проводимости должно приводить к росту электрического поля. Можно сделать предположение, что связь случайна, так как и электрическое поле, и концентрация пыли имеют годовой ход и являются типичными для континентальных частей, однако анализ среднесуточных значений указывает на наличие обратной связи, хотя и менее выраженной (из-за большой изменчивости величин), со значимыми коэффициентами корреляции в среднем  $-0,3$ .

Рассмотренные данные по регистрации суммарной электропроводности и концентрации аэрозолей для этих же периодов указывают на рост проводимости с увеличением концентрации пыли (корреляция  $+0,6$ ), т.е. можно предположить, что аэрозоли являются дополнительным источником ионизации воздуха в условиях Иркутска. Методика измерения проводимости исключает улавливание тяжелых ионов. Основными источниками ионизации атмосферы до высот около 3 км принято считать естественную радиоактивность почвы и газ радон. В зимние месяцы из-за покрытой снегом почвы радиоактивность уменьшается, снижается проводимость воздуха, а напряженность возрастает. Таким образом, как почвенная пыль, так и зола от сжигания угля могут явиться источником дополнительной ионизации воздуха. Дополнительная ионизация и образование объемных электрических зарядов, как довольно кратковременное явление и достаточно редкое, могут наблюдаться при пыльных шквалах, вызывая резкие колебания поля.

Метеорологическая дальность видимости обусловлена концентрацией аэрозолей в воздухе, которые снижают электрическую проводимость воздуха и могут нести элек-

трический заряд. Так, для зимних месяцев в Иркутске связь между напряженностью электрического поля  $E$  (В/м) и метеорологической дальностью видимости в интервале 5–40 км можно аппроксимировать линейной зависимостью

$$E = -1,22 D + 50, \quad (1)$$

а для летних месяцев

$$E = -1,63 D + 50, \quad (2)$$

где  $D$  – дальность видимости, км, т.е. между напряженностью поля и дальностью видимости существует обратная зависимость. В интервале 5–40 км дальность видимости в основном зависит от влажностной дымки, а туман, при котором более сложные электрические процессы исключались, требует отдельного изучения. Для анализа использованы данные электрических характеристик по всем наблюдаемым значениям. Результаты наблюдений за атмосферным электричеством делятся на «все» и «нормальные». «Нормальные» значения определяются отсутствием возмущающих факторов: нет нижней облачности, ветра более 6 м/с и атмосферных явлений. Все облака слоистых, слоисто-кучевых, слоисто-дождевых и кучево-дождевых форм имеют сложную электрическую структуру, поэтому облака различных форм и мощности оказывают различное влияние на электрическое поле у поверхности земли.

Таким образом, электрическое поле в условиях города является весьма чувствительным индикатором аэрозольного загрязнения воздуха и изменений метеорологического состояния атмосферы.

1. *Тверской П.Н.* Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеоиздат, 1949. 251 с.
2. *Семенов К.А.* Связь элементов атмосферного электричества с загрязнением воздуха // Тр. I Всесоюз. симпоз. по атмосферному электричеству. Л.: Гидрометеоиздат, 1967. С. 75–79.
3. *Чалмерс Дж.А.* Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 384 с.

*Yu.V. Shamanskii. Dependence of electric field strength of the atmosphere in Irkutsk on aerosol pollution.*

The results of research of statistical relation of the electric field strength of the atmosphere to the wind direction and speed, dust concentration, meteorological range, and kind of clouds in Irkutsk are presented. The relation of the field strength to wind direction is represented as three-dimensional dependence. The strongest variability of the electric field is observed at low wind speeds, and at high wind speeds the variability is insignificant, which is explained by turbulent mixing and clearing of the atmosphere. Inverse dependence was obtained between the dust concentration and the electric field strength. The dependence of the electric field on the meteorological range is approximated by the inverse linear dependence. The relation of hourly averaged electric field intensity at various clouds is represented as distribution of occurrence.