

А.А. Кречетов, Ю.В. Шаманский

Градиент потенциала электрического поля атмосферы как индикатор загрязнения атмосферы

Иркутский государственный университет

Поступила в редакцию 6.10.2004 г.

Анализируются многолетние измерения электрического поля в районе Байкальского целлюлозно-бумажного комбината. Загрязнения атмосферы выбросами по электрическому полю разделяются на естественные вариации, а также вариации метеорологической и геомагнитной природы. В целях разделения была организована регистрация потенциала электрического поля атмосферы в нескольких пунктах Прибайкалья. Показано, что аномальные значения градиента потенциала электрического поля над акваторией оз. Байкал имеют главным образом аэрозольное происхождение и связаны с их выносом на акваторию озера местными циркуляциями.

В последние годы наряду с традиционным применением данных об электрических процессах в метеорологии и геофизике проявляется интерес к использованию характеристик электрического состояния атмосферы как индикаторов промышленного загрязнения воздушного бассейна. В этом направлении исследований акцентируется внимание на электрической проводимости воздуха [5]. Связь электрических характеристик атмосферы с промышленными выбросами определяется двумя физическими механизмами: изменением ионного состава за счет аэрозолей и влиянием собственного объемного заряда выбросов, возникающего в результате их электризации. В некоторых случаях механизм электризации и заряд, приобретаемый выбросами, известны, например, прохождение выбросов через электростатические фильтры, устанавливаемые в заводских трубах [1, 2]. В настоящей статье анализируются многолетние измерения электрического поля в районе Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК). При оценке характера и степени загрязнения атмосферы промышленными выбросами по электрическому полю необходимо однозначно разделять

указанные механизмы, а также исключать естественные вариации метеорологической и геомагнитной природы.

Для изучения возможностей такого разделения авторами организована регистрация градиента потенциала электрического поля атмосферы в нескольких пунктах Прибайкалья. Пункты расположены на различных удалениях от БЦБК. Измерения осуществлялись однотипными коллекторными установками. Потенциал радиоактивного коллектора измерялся полупроводниковыми электродметрами, разработанными на кафедре метеорологии Иркутского государственного университета. Стационарные наблюдения электрического поля на побережье дополнялись измерениями над акваторией оз. Байкал и сопровождались метеорологическими, аэрологическими и актинометрическими наблюдениями. Основные результаты комплексных измерений сводятся к следующему.

В таблице приведены статистические характеристики градиента потенциала электрического поля атмосферы: среднесуточное значение V ; среднеквадратическое отклонение σ_V , коэффициент асимметрии A .

Статистические характеристики среднесуточных величин градиента потенциала электрического поля атмосферы ясной погоды. Летний период (1980–1985 гг.)

Место измерений	Число ясных дней	V' , В/м	V	A
п. Мурино	49	94	27	0,08
Акватория средней части оз. Байкал	28	127	2	1,63
Акватория южной части оз. Байкал	13	128	39	—
г. Северобайкальск	15	60	8	–1,22
п. Таксимо	10	65	10	–0,34
п. Черноруд	11	70	10	–0,11
п. Ханхино (Баргузинская долина)	9	61	4	–1,53
п. Глубокое	7	63	12	0,73
оз. Хубсугул (МНР)	10	7	7	0,11
<i>Атмосферно-электрические станции СССР (1978–1985 гг.) [3]</i>				
Иркутск	42	90	22	0,60
Душети	119	75	14	–1,44
Ленинград (Воейково)	107	151	33	1,17
Киев	20	95	27	–0,42
Одесса	108	196	65	1,03
Верхнее Дуброво	63	143	42	1,25
Борисполь	23	90	26	0,83
Ташкент	459	98	32	0,52

При определении среднесуточных значений V учитывались только полные сутки с ясной погодой. Это позволяет исключить неоднозначность среднесуточных величин V , обусловленную суточным ходом градиента потенциала электрического поля. Пункты: Северобайкальск, Таксимо, Черноруд, Ханхино, Глубокое и оз. Хубсугул расположены на большом удалении от источников загрязнения атмосферы и находятся в различных физико-географических условиях. Поэтому данные по градиенту потенциала электрического поля для этих пунктов можно считать близкими к фоновым для территории юга Восточной Сибири.

Как следует из таблицы, в пунктах, удаленных от источников загрязнения, среднесуточные величины градиента потенциала электрического поля относительно стабильны и слабо зависят от физико-географических условий местности. Среднеквадратическое отклонение σ_V для этих пунктов значительно меньше, чем для пунктов, расположенных в городах и вблизи источников загрязнения. Исключение составляет п. Душети, который в работе [5] отнесен к фоновому региональному. Наибольшая статистическая изменчивость среднесуточных величин напряженности электрического поля свойственна пунктам котловины оз. Байкал, расположенным в зоне влияния БЦБК (Мурино, акватория оз. Байкал), и пунктам сети атмосферно-электрических станций СССР.

Следует отметить тесную связь между среднесуточной величиной градиента потенциала и его квадратическим отклонением — коэффициент линейной корреляции равен 0,94. В теории вероятностей и математической статистике такая связь не предполагается. По-видимому, синхронные изменения V и σ_V в данном случае обусловлены одним фактором — загрязнением атмосферы. С одной стороны, увеличение содержания аэрозолей в атмосфере приводит к росту градиента потенциала. С другой — под действием метеорологических факторов аэрозоли трансформируются во времени и пространстве, вызывая нерегулярные колебания среднесуточных величин градиента потенциала электрического поля атмосферы.

Распределение среднесуточных значений V в большинстве случаев отлично от нормального. При наличии источников промышленных выбросов отмечается тенденция в преобладании большей положительной асимметрии. В «чистых» условиях преобладающей является отрицательная асимметрия. Промышленные выбросы приводят к росту градиента потенциала, вызывая тем самым преобладание в статистическом ряду наибольших его значений. Это и приводит, главным образом, к появлению правосторонней асимметрии. В «чистых» условиях наблюдается обратная картина.

Повышенные величины градиента потенциала электрического поля по сравнению с побережьем наблюдаются над акваторией оз. Байкал. Это характерно как для южной части, так и для средней. Общие закономерности изменений градиента потенциала с удалением от берега на акваторию (помимо стационарных) показаны на рис. 1. Видно, что с уда-

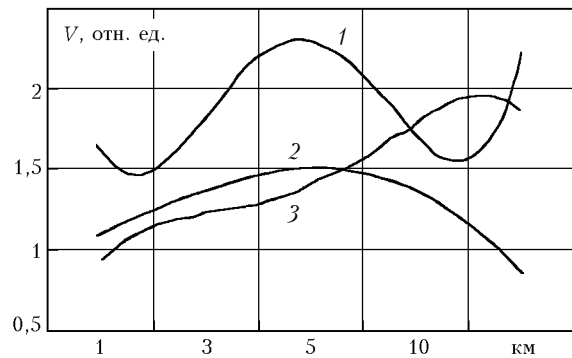


Рис. 1. Изменение градиента потенциала с расстоянием: 1 — БЦБК-акватория; 2 — Мурино-акватория; 3 — Танхой-акватория

лением от берега на акваторию озера наблюдается увеличение градиента потенциала. Установленная нами закономерность обусловлена рядом факторов. Во-первых, в [4] неоднократно обсуждался вопрос о взаимосвязи градиента потенциала с влажностью воздуха. Механизм такой связи заключается в том, что с изменением влажности воздуха изменяется в нем содержание продуктов конденсации, а следовательно, и проводимость воздуха. Изменение проводимости приводит к изменению градиента потенциала. Корреляционный анализ между среднесуточной величиной градиента потенциала и среднесуточным значением абсолютной влажности дает основание утверждать, что между этими величинами имеет место очень слабая связь. Коэффициент корреляции не превышает 0,3 и является устойчивым с надежностью вывода 0,9. Диапазон абсолютной влажности воздуха, для которого исследовалась связь, составил 6–13 г/м³. Во-вторых, получена высокая корреляционная связь градиента потенциала с интегральной прозрачностью атмосферы. Коэффициент корреляции равен –0,67 и является значимым с надежностью вывода 0,99.

Таким образом, аномальные значения градиента потенциала над акваторией оз. Байкал имеют преимущественно аэрозольное происхождение и связаны с их выносом на акваторию местными циркуляциями. Такой вывод подкрепляется и визуальными наблюдениями за формированием и трансформацией дымового шлейфа над акваторией южной части оз. Байкал.

Влияние промышленных выбросов сказывается не только на статистических характеристиках среднесуточных значений градиента потенциала электрического поля, но и на его суточном ходе. Причем это влияние также существенно зависит от расстояния до источника. На больших расстояниях главную роль играют выбросы высоких источников БЦБК, формирующие отрицательный объемный заряд в атмосфере. Величина этого заряда столь велика, что электрическое поле отрицательно во все сезоны года. Турбулентная деятельность, бризовая и котловинная циркуляции, метеорологическое самоочищение атмосферы формируют большие сезонные различия суточных вариаций градиента потенциала (рис. 2). В зимний период (рис. 2) отрица-

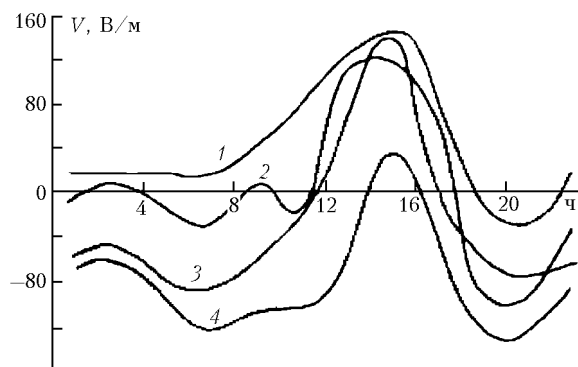


Рис. 2. Суточный ход градиента потенциала электрического поля в различные сезоны года в г. Байкальске: 1 – лето; 2 – весна; 3 – осень; 4 – зима

тельные значения градиента потенциала преобладают в течение суток, за исключением околопоздненных часов. В это время года инверсионное распределение температуры в районе г. Байкальска способствует накоплению отрицательного объемного заряда, плотность которого в ночные часы примерно равна плотности положительного объемного заряда чистой атмосферы. Летом, благодаря усилению турбулентности и развитию бризовой циркуляции, действие отрицательного объемного заряда ослабевает и электрическое поле отрицательно лишь в ночные часы.

Отмеченные особенности суточного хода градиента потенциала в г. Байкальске отличаются высокой стабильностью, так как они без существенных изменений сохраняются в отдельные годы. Коэффициент корреляции для суточного хода градиента потенциала за отдельные годы и среднего суточного хода колеблется в пределах 0,82–0,92. Это говорит о высокой устойчивости процессов диффузии промышленных выбросов в этом районе.

С удалением от БЦБК характер суточного хода градиента потенциала претерпевает некоторые изменения. На рис. 3 показаны кривые суточного хода градиента потенциала в летнее время на различных удалениях от завода. Как видно из рис. 3, на расстоянии 20 км (кривая 2) суточный ход градиента потенциала приобретает типичный вид. На этом расстоянии отрицательный объемный заряд диссипирует, и аэрозоли влияют на электрическое поле атмосферы как нейтральные и тяжелые ядра. На расстоянии 5 км (кривая 1) происходит обращение кривой суточного хода. Это связано с тем, что в отдельные дни в дневные часы отрицательные объемные заряды достигают таких расстояний и градиент потенциала электрического поля атмосферы стано-

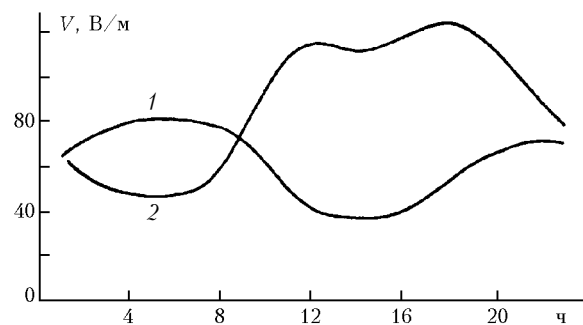


Рис. 3. Суточный ход градиента потенциала на различных удалениях от г. Байкальска: 1 – 5, 2 – 20 км

вится отрицательным, сохраняя знак на протяжении многих часов. Наиболее устойчивые отрицательные значения градиента потенциала отмечаются в 12–16 ч местного времени, т.е. в те часы, когда максимального развития достигает турбулентная деятельность. Характер суточного хода градиента потенциала, наблюдаемый на расстоянии 5 км, сохраняется во всех направлениях от завода, включая и акваторию озера.

В заключение рассмотрим поведение градиента потенциала электрического поля в период остановки БЦБК на профилактический ремонт. В этот период градиент потенциала электрического поля становится положительным во все часы. На третий день после прекращения работы комбината среднесуточное значение градиента потенциала уменьшилось примерно в 2 раза, а на четвертый – в 3 раза и стало равным 70 В/м, т.е. приблизилось к фоновому значению. Нужно отметить, что в эти дни метеорологические условия были благоприятными для рассеивания и выноса аэрозолей. Характер суточного хода градиента потенциала стал таким же, как суточный ход незагрязненной атмосферы.

1. Кречетов А.А., Филиппов А.Х. Градиент потенциала электрического поля в условиях промышленного загрязнения атмосферы // Метеорол. и гидрол. 1982. № 5. С. 24–27.
2. Левитов В.И. Дымовые электрофильтры. М.: Энергия, 1980. 186 с.
3. Результаты наземных наблюдений за атмосферным электричеством. Мировая сеть. Л.: ГГО, 1967–1985.
4. Чалмерс Дж. Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 417 с.
5. Шварц Я.М., Огуряева Л.В. Многолетний ход величин атмосферного электричества в приземном слое // Метеорол. и гидрол. 1987. № 7. С. 31–35.

A.A. Krechetov, Yu.V. Shamanskii. Gradient of atmospheric electric field as an indicator of atmospheric pollution.

Many-year variations of the electric field in the region of the Baikal pulp-and-paper plant are analyzed. When assessing atmospheric pollution by plant emissions on the basis of electric field measurements, it is necessary to separate natural variations of the electric fields, as well as variations of meteorological and geomagnetic origin. For this purpose, the potential of the atmospheric electric field was measured as several sites in the Baikal region. It is shown that anomalous values of gradient of electric field potential over the Lake Baikal are mostly of aerosol origin and can be attributed to local air circulations, which transport aerosol emissions to the lake territory.