

## **Результаты многолетних экспедиционных атмосферно-электрических исследований в приземном слое**

Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н.,  
Кудринская Т.В., Петров Н.А.

### **Введение**

В настоящее время в атмосферно-электрических исследованиях приземного слоя атмосферы большое внимание уделяется вопросам математического моделирования. В статьях и монографиях, посвященных электродному эффекту в атмосфере, показано, что использование различных типов моделей дают определенное представление о закономерностях протекания электрических процессов в приземном слое атмосферы. Выбор конкретной модели должен быть обоснован соответствующими физическими условиями, однако ощущается недостаток экспериментальных данных о физических параметрах, характеризующих электрическое состояние атмосферы. В большой степени это связано с трудностями проведения наземных наблюдений за элементами атмосферного электричества, для которых необходим целый комплекс чувствительных электрометрических приборов с высокими требованиями к изоляции.

На физическом факультете Педагогического института Южного федерального университета (ПИ ЮФУ) на протяжении многих десятилетий проводятся комплексные исследования электродного слоя атмосферы. Накопленный экспериментальный материал получен в условиях экспедиции в летние месяцы, главным образом, на территории Ростовской области (табл.1). Важной частью измерительного комплекса являются градиентные измерения атмосферно-электрических и метеорологических параметров, а также концентрации радона-222 в атмосфере, что позволяет исследовать электродинамическую структуру

приземного слоя. Автоматизация измерений дает возможность непрерывной регистрации характеристик и получения рядов данных, которые служат основой исследований временных вариаций.

*Таблица 1. Измеряемые атмосферно-электрические характеристики*

	Измеряемые характеристики	Метод измерения	1966-1978	1979-1987	1987-1991	1992-1994	1995-1998	1999-2000	2002-2005	2006-2009
			ДЗНИИСХ*	г.Ростов-на-Дону*	берег о.Байкал, п.Б.Коты	с.Первомайское Кашарский р-он*	с.Михайловка Кашарский р-он*	Орловский р-он*	х.Плагов Кашарский р-он*	х.Талловеров Кашарский р-он*
Градиентные измерения	Полярные удельные электрические проводимости	Прибор Гердиена системы Литвинова	+	+	+	+	+	+	+	+
	Потенциал электрического поля атмосферы	Коллекторный метод	+	+	+	+	+	+	+	+
	Метеорологические параметры	Психрометры Ассмана, чашечные и крыльчатые анемометры, почвенные термометры Савинова	+	+	+	+	+	+	+	+
	Концентрация радона-222	Радонометр «AlphaGUARD»					+	+	+	+
Непрерывная регистрация	Полярные удельные электрические проводимости	Прибор Гердиена системы ГГО «Электропроводность -2»				+	+		+	+
	Напряженность атмосферного электрического поля на уровне земли	Электростатический флюксметр системы ГГО «Поле-2»			+		+	+	+	+
	Полярные концентрации легких ионов	Счетчик ионов «Сапфир-3К»								+
	Метеорологические параметры	Цифровая метеостанция М49-М								+
	Составляющие вертикального тока из атмосферы на землю	Метод пластины (измеритель - вольтметр-электромтр В7-30		+	+	+	+	+	+	+

\* - Ростовская область

## **Результаты экспериментальных исследований геофизической лаборатории**

В экспериментальных исследованиях электродного слоя атмосферы, проводимых геофизической лабораторией, можно выделить несколько направлений.

### ***1. Связь атмосферно-электрических характеристик с физическим состоянием атмосферы***

Предметом исследований являлось изучение микроклимата на опытных и производственных сельскохозяйственных полях Ростовской области, изучение влияния загрязнения воздушного бассейна г.Ростова-на-Дону и других территорий на атмосферно-электрические характеристики с целью использования этих характеристик как индикаторов общего загрязнения атмосферы. При исследовании влияния аэрозольного загрязнения атмосферы на электрические характеристики приземного слоя было отмечено уменьшение значений полярных электропроводностей при увеличении содержания аэрозолей. Исследования обнаруживают влияние индустриальных центров, являющихся мощными источниками аэрозолей, на электрическое состояние приземного слоя атмосферы [1].

Значительный интерес в исследованиях вызывает рассмотрение вертикального распределения характеристик атмосферы в приземном слое. Как показывают исследования, электрическое состояние приземного слоя в значительной степени зависит от его температурной стратификации. Физико-статистические исследования полярных удельных электропроводностей позволяют выделить некоторые однородные условия для систематизации экспериментального материала [2]. Построенные для устойчивой и неустойчивой стратификации приземного слоя атмосферы вертикальные профили полярных электропроводностей демонстрируют характерное поведение величины для данных условий [3, 4]. На рисунке 1 приведены типичные профили вертикального распределения полярных

удельных электропроводностей для случаев устойчивой и неустойчивой стратификации приземного слоя атмосферы.

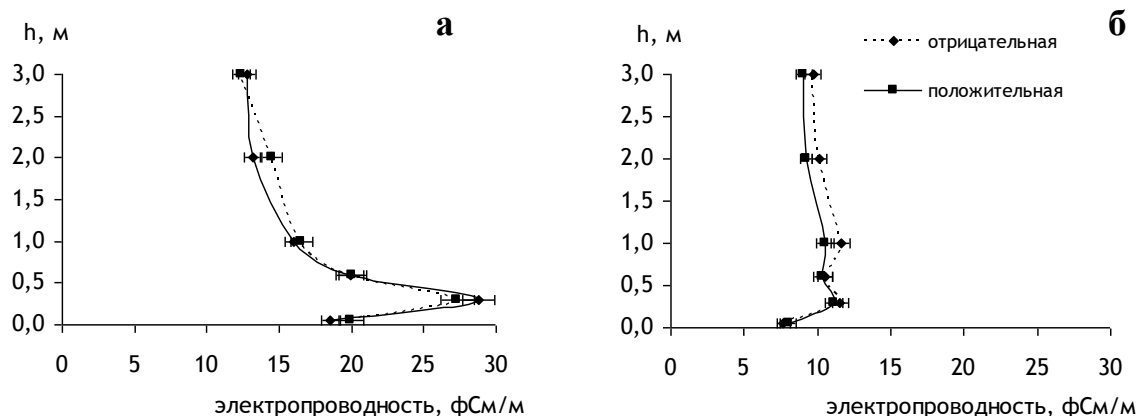


Рис. 1. Вертикальное распределение полярных удельных электропроводностей при различной стратификации приземного слоя атмосферы  
 а) устойчивая стратификация б) неустойчивая стратификация

Устойчивость приземной атмосферы наряду со скоростью ветра влияет на турбулентное перемешивание, от которого зависит распределение примесей в атмосфере, а значит и вертикальное распределение электрических параметров. Обнаружены характерные особенности вертикального распределения полярных удельных электропроводностей в электродном слое в зависимости от турбулентного перемешивания, отмечается значительное уменьшение градиента электропроводности в слое 0.3 - 1 м с увеличением интенсивности турбулентного перемешивания [4, 5].

Экспериментальные распределения полярных электропроводностей по высоте в слое 0.3 - 3 м можно аппроксимировать степенной функцией:  $\lambda = Ch^{-\alpha}$ , где коэффициенты  $\alpha$  и  $C$  зависят как от коэффициента турбулентности, так и от концентрации радона в пункте наблюдений [6]. Для профилей относительной электропроводности (отношение электропроводности на каждой высоте к ее значению на верхнем 3-метровом уровне  $y = \frac{\lambda_h}{\lambda_{3.0}}$ ) обнаружена линейная зависимость

коэффициентов аппроксимирующей функции от концентрации радона в почве [6].

Важными представлялись и измерения естественного радиоактивного фона, т.к. в приземном слое основным источником ионизации являются радиоактивные эманации, обуславливающие пространственно-временные вариации ионообразования в атмосфере, а значит и атмосферно-электрических характеристик [7]. На основании экспериментальных данных, полученных на территории Ростовской области, обнаружена положительная корреляция полярных электропроводностей с концентрацией радона-222 [3].

Вертикальные профили концентрации радона при различной стратификации приземного слоя указывают на обусловленность пространственного распределения полярных электропроводностей выходом радиоактивных эманаций [6]. Учет концентрации радона в почве позволил получить обобщенную функцию распределения относительной электропроводности по высоте в устойчиво стратифицированном приземном слое для пунктов Ростовской области [6]. Рассматривались условия, способствующие интенсивному выходу радона-222 в атмосферу, в частности распределение температуры в поверхностном слое почвы [4]. Зависимости концентрации радона и полярных электропроводностей от скорости ветра хорошо аппроксимируются монотонно убывающим участком квадратичной функции при низких значениях скорости ветра, а при скоростях более 2,5 м/с прослеживается постоянство указанных величин [3].

Наряду с исследованием поведения полярных удельных электропроводностей рассматривались пространственные распределения плотности объемного заряда легких ионов. Обнаружено уменьшение плотности объемного заряда с усилением турбулентного обмена, имеющее нелинейный характер. Регрессия плотности объемного заряда по градиенту

электрического потенциала позволила выделить, что периоды с более сильным электрическим полем характеризуются более интенсивным протеканием приэлектродных процессов [8].

## ***2. Исследования процессов переноса заряда в атмосфере и из атмосферы на землю***

Данные многолетних наблюдений в различных пунктах Ростовской области и вблизи озера Байкал показывают, что в ненарушенных условиях полный вертикальный ток в атмосфере и из атмосферы на землю включает не только ток проводимости, но и ток механического переноса зарядов, который, связан с диффузионными и конвективными процессами в атмосфере [9, 10]. Процессы переноса зарядов под действием механических сил, можно рассматривать как источник локальных возмущений электрического поля атмосферы, а значения плотности тока механического переноса – как критерий оценки условий «хорошей погоды». Для определения периодов отсутствия возмущений, вызванных действием локального генератора предложен условный интервал значений плотности тока механического переноса ( $-0,10 \text{ пА/м}^2 < i_{mn} < 0,10 \text{ пА/м}^2$ ), когда можно считать ток механического переноса абсолютно малым: в среднем для всех пунктов наблюдений в этих случаях  $i_{mn}$  не превышает 10 % от тока проводимости [11].

Для всех пунктов Ростовской области экспериментальные распределения плотности тока проводимости  $i_\lambda$ , и плотности тока механического переноса  $i_{mn}$  обнаруживают асимметрию и эксцесс по сравнению с нормальным распределением. Эмпирические распределения  $i_\lambda$  и  $i_{mn}$ , построенные по данным наблюдений на Байкале, близки к нормальному. Было обнаружено, что перенос заряда из атмосферы на землю, осуществляемый посредством тока механического переноса, имеет различный механизм в случае турбулентной атмосферы (турбулентная

диффузия) и при отсутствии турбулентного перемешивания (молекулярная диффузия). Это связано с условиями формирования электродинамического режима атмосферы в каждом пункте наблюдений [12].

Вблизи земной поверхности имеет место сложное вертикальное распределение электрических характеристик атмосферы, что связано с близостью границы раздела двух сред, являющейся источником ионизирующих излучений и эманаций радиоактивных газов, а так же с наличием в атмосфере объемных зарядов различного происхождения. В таких условиях ток проводимости изменяется по высоте в прилегающем к земле слое воздуха, что приводит к изменению плотности объемного заряда пропорционально дивергенции тока проводимости в этом слое. При устойчивой и неустойчивой стратификации обнаруживается линейная зависимость плотности тока механического переноса от дивергенции тока проводимости вблизи земной поверхности. В часы, когда наблюдается безразличная стратификация в сочетании с низкой температурой воздуха и большой скоростью ветра, эта связь отсутствует [13].

Интенсивность механического переноса заряда из атмосферы на землю зависит от стратификации атмосферы вблизи земной поверхности (рис. 2):

- а) Неустойчивая стратификация: наблюдается в дневное время, характеризуется интенсивной турбулентностью и наличием восходящих потоков воздуха. Обнаруживаются слабые процессы переноса заряда (рис 2а);
- б) Безразличная стратификация: когда отмечается слабая турбулентность и слабые вертикальные потоки. Характеризуется более интенсивными процессами переноса заряда, чем в первом случае (рис 2б);
- в) Устойчивая стратификация: характерна для тихих ночей, вертикальные пульсации воздуха отсутствуют или слабы. Обеспечивается наиболее интенсивный перенос заряда из атмосферы на землю (рис 2в).

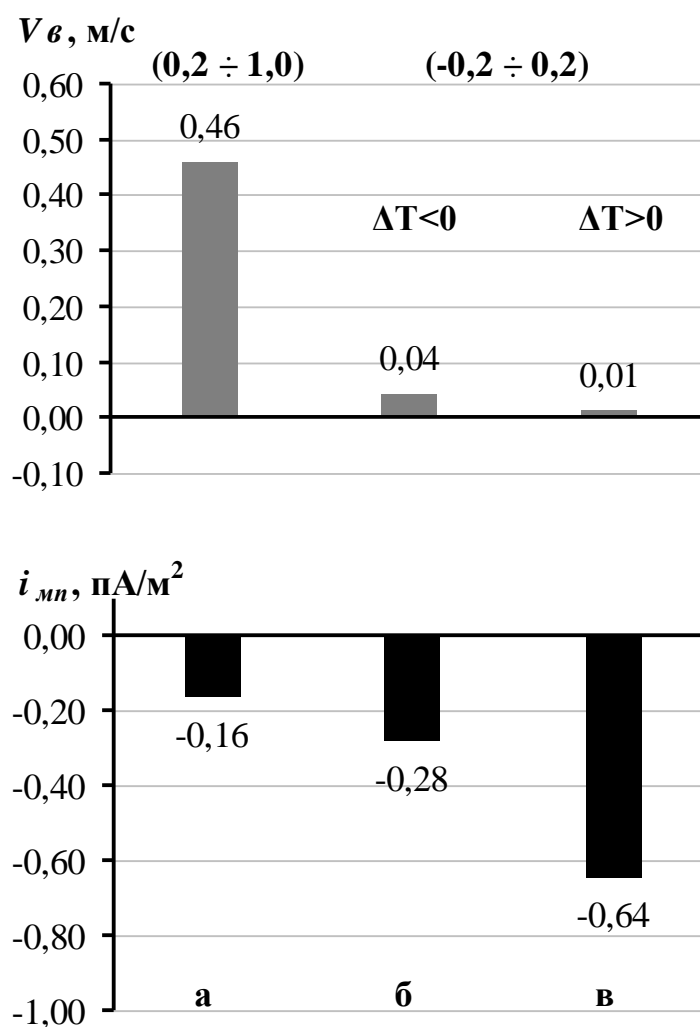


Рис. 2. Плотность тока механического переноса  $i_{mn}$  при различных скоростях вертикального движения воздуха  $V_v$

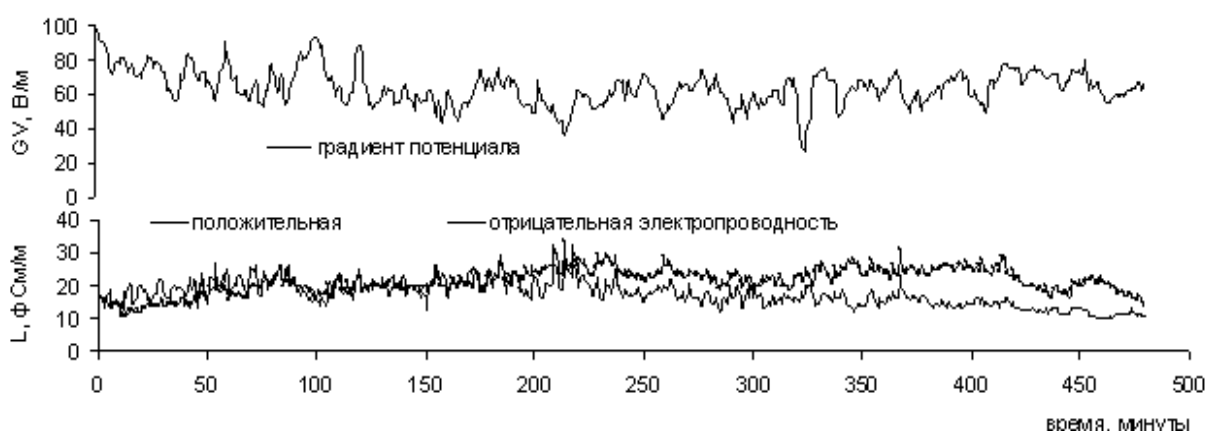
### 3. Исследования временных вариаций атмосферно-электрических характеристик

Данное направление исследований является для лаборатории новым. Возможность изучать ряды динамики величин появилась с началом непрерывной регистрации с применением ПК.

Обнаружение периодичности в колебаниях электрических параметров приземного слоя может способствовать выявлению факторов,

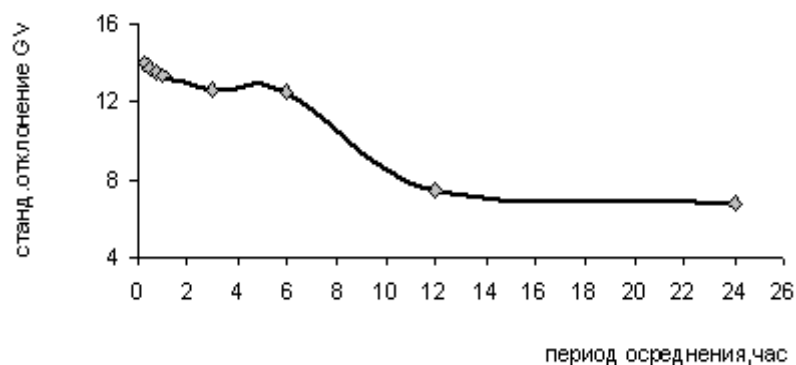


значимых для атмосферно-электрических процессов в электродном слое. На основании данных автоматизированных измерений исследовались временные вариации градиента потенциала атмосферного электрического поля и полярных электропроводностей атмосферы при различных периодах осреднения. На рисунке 3 представлены примеры рядов динамики градиента потенциала атмосферно-электрического поля на уровне земли и полярных удельных электропроводностей.



*Рис.3. Пример вариаций атмосферно-электрических характеристик в приземном слое (ежесекундное осреднение)*

Для выявления внутрисуточных периодичностей поля проводился анализ автокорреляционной функции градиента потенциала электрического поля атмосферы на уровне земли. На основании данного анализа обнаружено присутствие в вариациях поля колебаний с периодом около 4-6 минут, связанные с турбулентностью атмосферы. Исследовался вопрос поведения стандартного отклонения в зависимости от периода осреднения; установлено уменьшение стандартного отклонения при увеличении периода осреднения, отмечено повышенное значение соответствующее 4-часовому периоду (рис. 4), что указывает на возможность присутствия в спектре колебаний градиента потенциала возмущений данного ритма.



*Рис. 4. Стандартное отклонение градиента электрического потенциала атмосферы при различных периодах осреднения*

Для выявления внутрисуточных и внутрисуточных периодичностей временных рядов градиента электрического потенциала применялся спектральный анализ. На основании этого анализа было подтверждено существование периодичностей 4-6 минут, а также установлены периодичности временных вариаций градиента потенциала порядка 12-15 и 24-30 минут. Анализ спектрограммы показал наличие в спектре периодичности соответствующей 2,5 часам.

В настоящее время исследуются причины, обуславливающие наличие в спектре колебаний атмосферно-электрических характеристик волн разного периода.

### **Заключение**

Получаемые при наземных наблюдениях комплексные экспериментальные данные могут быть использованы при моделировании электродного слоя, что позволит сократить некоторое несоответствие между теорией и экспериментом, существующее в настоящее время.

### **Список литературы:**

1. Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н. Влияние индустриального загрязнения воздушного бассейна на

- электропроводность атмосферы в Ростове-на-Дону // Труды ГГО. 1990. Вып.527. С.41-43.
2. *Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н., Кудринская Т.В.* Физико-статистический анализ атмосферно-электрических характеристик приземного слоя // Труды НИЦ ДЗА (Филиал ГГО). 2006. Вып.7. С.182-190.
  3. *Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н., Кудринская Т.В., Куповых Г.В., Клово А.Г.* Электропроводность воздуха и концентрация радона в приземном слое // Труды V Российской конференции по атмосферному электричеству. Владимир. ВГУ. 2003. С.124-127.
  4. *Petrov A.I., Petrova G.G., and Panchishkina I.N.* On factors determining the variations of the electric characteristics of a surface layer // Proc.11<sup>th</sup> Int. Conf. Atm. Electricity. Alabama. USA. 1999. Pp.547-550.
  5. *Петров А.И., Петрова Г.Г.* Вертикальные профили полярных электропроводностей и плотности объемного заряда в электродном слое атмосферы // Труды ГГО. 1988. Вып.514. С.12-16.
  6. *Petrov A.I., Petrova G.G., Panchishkina I.N.* Profiles of polar conductivities and of radon-222 concentration in the atmosphere by stable and labile stratification of surface layer // Atmospheric Research. 91 (2009). Pp.206-214.
  7. *Калинина М.В., Куповых Г.В., Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н.* Радиоактивность и ионизация воздуха в приземном слое атмосферы // Таганрог. Известия ТРТУ. 2004. № 5. С.175-179.
  8. *Петров А.И., Бык (Петрова) Г.Г.* Изменения плотности объемного заряда легких ионов в электродном слое атмосферы // Труды II Всесоюзного симпозиума по атмосферному электричеству. Ленинград, ГГО им. А.И. Воейкова. Гидрометеиздат. 1984. С.26-27.

9. *Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н.* Измерения компонент вертикального атмосферно-электрического тока в г. Ростове-на-Дону // Труды ГГО. 1988. Вып.514. С.17-22.
10. *Petrov A.I., Petrova G.G., and Panchishkina I.N.* Variations of vertical “atmosphere-earth” current components and its probable interpretation // Proc.10th Int. Conf. Atm. Electricity. Osaka, Japan, 1996. Pp.548-551.
11. *Панчишкина И.Н., Петров А.И., Петрова Г.Г., Куповых Г.В., Петров Н.А., Кривошеев А.П.* Вертикальные электрические токи в атмосфере и их роль в формировании электродинамической структуры приземного слоя // Известия высших учебных заведений. Сев.- Кав. рег., Естест. Науки 2008. №5. С.42-48.
12. *Petrov A.I., Petrova G.G., and Panchishkina I.N.* Statistic structure of variations of vertical «atmosphere-earth» currents // Proc.12th Int. Conf. Atm. Electricity. Versailles. France. 2003.
13. *Panchishkina I.N., Petrova G.G., Petrov A.I., Kudrinskaja T.V.* Space charge generation in the atmosphere and the density of mechanical transfer current to the ground // Atmospheric Research. 91 (2009). Pp.238-243.