

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ АТМОСФЕРЫ

ციციშვილი მ.მ., ციციშვილი მ.ს.

Академия экологических наук Грузии, Тбилиси

Аннотация: Для характеристики устойчивости атмосферы, которая определяет приземный ветро-диффузионный перенос загрязняющего аэрозоля, в расчетных схемах переноса примеси в приземной атмосфере предложен «условно - климатический параметр» m , который вычисляется по многолетним климатическим данным. Этот параметр дает адекватную оценку неустойчивости приземного слоя атмосферы в моделях переноса аэрозольной примеси. Он также эффективен для проведения предварительных исследований по оптимальному размещению крупных предприятий с большеобъемными токсичными выбросами в атмосферу.

Ключевые слова: устойчивость атмосферы, перенос загрязняющего аэрозоля.

Атмосфера представляет собой химически сложную систему, находящуюся во взаимодействии с земной поверхностью, океаном и биосферой. Ее состав непрерывно меняется. В последнее столетие эти изменения резко ускорились в результате человеческой деятельности.. В последние десятилетия выявилось тенденция – увеличение содержания в атмосфере аэрозолей и парниковых газов - окиси и двуокиси углерода, метана, хлорфторуглеродов и некоторых других. Вследствие этого изменилось состояние климатической системы и произошло потепление климата на Земле. Потепление сопровождается рядом неблагоприятных явлений, в частности, увеличением повторяемости экстремальных метеорологических и экологических ситуаций (ливневых осадков, наводнений, ураганов, оползней и т.п.) и опустыниванием южных территорий. Мониторинг состава атмосферы и прогнозирование его изменений являются одним из важнейших условий устойчивого развития страны. Мониторинг дает необходимую информацию как для решения фундаментальных научных проблем, связанных с изучением и прогнозированием глобальных изменений среды обитания человека и климата Земли, так и для выработки эффективной экологической политики, в частности, в области принятия и исполнения Международных соглашений: Монреальского и Киотского протоколов, Конвенций о трансграничном переносе загрязнений, об устойчивых органических загрязнителях и целом ряде других.

Первое систематизированное научное сообщение по аэрозолям, датированное 1875 г, принадлежит перу М.Кулье, а пионерские систематические исследования естественного атмосферного аэрозоля были проведены И. Айткенем и опубликованы в Единбурге в 1880 г. Физ-химия аэрозолей, начало которой, как самостоятельной научной дисциплины, было заложено в трудах Николая Альбертовича Фукса еще в начале 20-ых годов прошлого века, стремительно развивается. Уже в начале прошлого XX века во всем мире широко развернулись работы по исследованию аэрозольного и гидрозольного – диспергированного состояния твердых и жидких веществ (самого различного происхождения) в газовой или жидкой фазе. Это объясняется самым широким распространением диспергированного состояния вещества в природе и в технологиях - современные достижения в металлургии, энергетике, в космосе или в военных технологиях немыслимы без аэрозольных технологий!

Особый интерес к физ-химии атмосферных аэрозолей обусловлен следующими обстоятельствами:

- выявлена важнейшая роль атмосферного аэрозоля в процессах влаго-, энерго-, и зарядо-переноса в атмосфере, т.е. во всех основных пагодообразующих процессах;
- выявлено, что антропогенные примеси «проникают и живут» в атмосфере в аэрозольной форме, оказывая на окружающую природную среду и всю биоту не только локальное, но и глобальное воздействие;

- выявлены большие возможности аэрозольных примесей для локальных климатических изменений и получения конкретных технических эффектов.

Именно эти причины обуславливают большой рост различных направлений исследований атмосферных и техногенных аэрозолей в области: моделей генерации и переноса аэрозолей различного генезиса и физико-химических свойств; интегральных свойств аэрозольных ансамблей и их взаимодействий со средой; средств метрологии для оценки влияния аэрозоля на фундаментальные параметры атмосферы (осадки, электричество, озоновый слой, ионосферы и т.д.).

К моменту распада СССР, в многочисленных ведомствах велись целевые разработки по изучению взаимодействия конденсационного аэрозоля различного генезиса; во всех этих разработках, под различными «легендами» («Штора», «Завеса», «Чародейка») принимали участие ученые Грузии; этот потенциал не имеет смысла не использовать.

Исследование аэрозолей в Грузии имеет давнюю историю: первые измерения частичек и радиоактивности в атмосферном воздухе проведены на Тбилисском Фуникулере «тремь Михаилами: Нодиа, Курдиани и Чхетиа», известными в дальнейшем учеными, в самом начале 20-ых годов XX века. Такие известные ученые, как Ф.Ф. Давитая и М.З. Нодиа, значительное внимание уделили в своих фундаментальных трудах атмосферным аэрозолям. Работы Ф.Ф. Давитая по изучению ослабления прямой солнечной радиации вследствие возрастания антропогенной запыленности явились классическими пионерскими работами и положили начало «экспериментальной энвирологии». Во всем мире известны работы плеяды ученых Грузии в области активных воздействии на атмосферные процессы: Г.Г. Сванидзе, Г.К. Сулаквелидзе, А.И. Карцивадзе, В.П. Ломинадзе, Н.Д. Бибилашвили, и др. Интерес к совместным работам в области атмосферных аэрозолей вместе с учеными Грузии обусловлен целым рядом объективных причин:

- уникальными геофизическими условиями Грузии с широчайшим диапазоном естественного разброса климатических данных (осадки, радиация, температурный и влажностный режим, перепад высот, вертикальный атмосферный обмен, местная циркуляция и т.д.);
- расположение в зоне наиболее интенсивного атмосферного переноса загрязнений в наиболее индустриализированном широтном поясе Земли, и малым «собственным владом», что создает уникальные возможности изучения естественной глобальной динамики атмосферного аэрозоля в глобальном масштабе.

Грузия одна из немногих стран, в которой, начиная с середины прошлого, XX века были проведены уникальные измерения атмосферного аэрозоля и некоторых переменных компонент атмосферы. Достаточно назвать лишь некоторые из них:

а) в Абастуманской обсерватории Грузии до сих пор идут непрерывные измерения «сумеречного неба»; «аэрозольной оптической толщей атмосферы», измеряется приземная концентрация озона; именно здесь были проведены несколько серий совместного Советско-Американского эксперимента «Афэкс»;

б) нами, в 70-ых годах прошлого века совместно с Эстонскими учеными из Тырваре, на Самсарском геофизическом полигоне ЗакНИГМИ, были проведены уникальнейшие «подспутниковые измерения» дифракционным спектрометром; результаты этих измерений до сих пор ждут серьезных совместных обработок;

в) примерно в те же годы в промышленном комплексе Рустави-Тбилиси, по программе академика К.Я. Кондратьева проходил «КЭНЭКС», обеспечиваемый большой наземной сетью и специальным исследовательским самолетом; эти материалы также ждут своих исследователей;

г) в 80-ых годах, с интервалом в несколько лет, совместно с исследовательской группой НИФХИ им. Л.Я. Карпова проведены в Аджарии и в Кахетии (на Руиспирском полигоне) измерения полного спектра фонового атмосферного аэрозоля, выявившие крайне интересную картину генерации естественного атмосферного аэрозоля в прибрежных и горных регионах;

д) в отдельные годы в Грузии проведены озонозондирования совместно с учеными Германии;

ж) с 60-ых годов прошлого века систематически проводились самолетные исследования атмосферных ядер конденсации счетчиком Шольца, измерялись параметры атмосферного электричества, радиоактивности приземной атмосферы и т.д.

Все эти уникальные результаты измерений, объединенные в одном международном проекте, подкрепленные систематическими данными широтного мониторинга аэрозольного компонента и некоторых переменных компонент атмосферы помогут выявить реальную картину глобальной динамики атмосферного аэрозоля атмосферы средних широт Земли, дать реальную оценку

антропогенного вклада в изменении современного климата. Это вполне достойная и сложная научная задача, актуальность которой, вне всякого сомнения.

Не требует особого обоснования крайняя необходимость создания международной станции слежения за аэрозольной компонентой и переменными компонентами атмосферы на Южном Кавказе, вдоль «большого энергетического коридора» на средства Международного проекта МНТЦ, в виде Международного стационара в Боржоми (Грузия). Эту нашу инициативу, неоднократно озвученную нами на Международных аэрозольных симпозиумах, поддерживают многие научные центры разных стран.

Уменьшение нагрузок на окружающую среду путем совершенствования моделей рассеяния с учетом атмосферных условий, наряду с совершенствованием технических средств их улавливания, – основное направление экологического прогресса в этой области. В настоящей работе приведены некоторые результаты исследований, используемые нами в многолетней практике работ по уменьшению риска неблагоприятного воздействия на здоровье населения и персонала при различных внештатных ситуациях на транзитных энергомагистралах или стационарных энергообъектах или других специфических производств с большим объемом токсичных аварийных выбросов. При этом определяющее значение имеет атмосферная стратификация, определяющая ее устойчивость, а следовательно закономерности разбавления и дальнего переноса токсичной аэрозольной примеси. Для характеристики устойчивости атмосферы, которая определяет приземный ветро-диффузионный перенос загрязняющего аэрозоля, обычно рекомендуется, в расчетных схемах переноса примеси в приземной атмосфере, использовать параметр Ричардсона:

$$R_1 = \frac{g}{\theta} \times \frac{\partial\theta/\partial z}{\beta^2} = \frac{g}{T} \times \frac{\Gamma_a - \gamma}{\beta^2},$$

где: $\beta = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2\right]}$ - вертикальный градиент скорости ветра;

Γ_a – сухоадиабатический температурный градиент (γ);

θ – потенциальная температура; $\theta = T \left(\frac{1000}{T}\right)^{0,233}$;

g – ускорение свободного падения.

На практике для вычислений нами используется приближенное выражение:

$$R_i = \frac{g}{T_0} \cdot \frac{\Delta T / \Delta H}{(\Delta U / \Delta H)^2},$$

где: ΔT и ΔU разности температуры и скорости ветра в приземном слое, соответственно у поверхности земли и на высоте H ; ΔH – разность высот.

Однако, как правило градиентные наблюдения весьма дороги и ведутся только выборочно; в итоге, градиентные наблюдения не всегда и не во всех пунктах доступны и вышеприведенные величины не определяемы на практике. Чтобы обойти эти противоречия, нами предложен аналогичный «условно-климатический параметр» m , который вычисляется по многолетним климатическим данным (СНиП 2.01.01.-82) в следующем виде:

$$m'' = \frac{g \cdot \Delta H}{(\gamma_{\max} - \gamma_{\min})^2} \cdot \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T},$$

В таблице 1 приведены рассчитанные величины M , предложенного нами параметра в упрощенном виде (без входящих в формулу постоянных g , ΔH):

$$M' = \frac{1}{\gamma_{\max}^2} \cdot \frac{|\Delta T|}{T},$$

Из таблицы явно прослеживается рост величины условного параметра M' в горных регионах (Чечня и Сев. Осетия) по сравнению с равнинными и особенно приморскими регионами (Одесса, Крым, Краснодар, Ростов, Волгоград). В таблице 2 аналогичные расчеты проделаны для некоторых пунктов Грузии. Здесь необходимо сделать несколько пояснений. Параметр Ричардсона по своему физическому смыслу является характеристикой динамических процессов неустойчивости приземного слоя атмосферы. Вводимый нами параметр, вычисляемый по многолетним обобщенным климатическим характеристикам ветрового и температурного режима, на первый взгляд, не может оценивать динамику процессов, однако это не так!

Проведенные расчеты показывают адекватность характеристики неустойчивости приземного слоя с помощью предложенного параметра. Выявленная закономерность возрастания параметра M , в горных регионах (см. табл.1), исключительно точно воспроизводится в табл.2 для некоторых районов Грузии. В таблице 2 пункты (это пункты метеорологической сети) сгруппированы по регионам. Таким образом, сопоставление данных по обеим таблицам указывает на адекватную оценку неустойчивости приземного слоя атмосферы, и возможность с помощью вводимого нами параметра, без проведения трудоемких и дорогих градиентных наблюдений, проводить районирование по степени неустойчивости атмосферы. Это особенно важно, как при планировании защитных мероприятий, так и по проведению экологического аудита или работ по ОВОС (оценка воздействия на окружающую среду). Несмотря на условность численных величин параметра M , примечательно замечательное совпадение данных таблиц 1 и 2 для идентичных по климатическим и рельефным условиям регионам: Восточная Грузия (32,4), Армения и Азербайджан (34,2 и 34,0); Побережье Черного моря и Западная Грузия (14,2 и 14,0) и Одесса, Крым и Краснодарский край (соответственно 10,7; 17,3 и 15,2 – в среднем 14,4).

Таблица 1. Условный коэффициент устойчивости приземной атмосферы.

Регион	$\frac{ AT }{T}$	$\frac{1}{\gamma_{\max}^2}$	M'	Условн. градация
Астрахань	9.102	0.034	31.2	III
Волгоград	11.191	0.026	29.1	II
Дагестан	6.286	0.044	27.5	II
Краснодар	6.260	0.024	15.2	I
Ростов	9.431	0.025	23.8	II
Сев. Осетия	8.696	0.111	96.6	IV
Ставрополь	8.197	0.028	22.8	II
Чечня	7.327	0.082	59.8	IV
Крым	5.762	0.030	17.3	I
Одесса	7.311	0.014	10.7	I
Азербайджан	4.552	0.075	34.0	III
Армения	8.491	0.040	34.2	III

Этот же параметр может быть успешно применен для проведения предварительных исследований по «**экологически оптимальному**» размещению крупных предприятий с большими объемами токсичными выбросами в атмосферу. При этом необходимо помнить, что есть возможность выбирать стратегию, в зависимости от конкретных целей: достичь максимального оседания для сравнительно низкотоксичной, но консервативной – устойчивой примеси, или добиться максимального рассеяния (эта стратегия оправдана для высокотоксичной, но распадающейся примеси, например радиоактивного выброса с короткоживущими продуктами распада). **Использование предложенной нами параметризации делает возможным проводить предварительную экспертизу мест размещения особо опасных предприятий с крупными выбросами токсичной примеси без больших финансовых затрат и фактически является основой разработанной нами «методологии экологического районирования» с целью «экологической оптимизации размещения объектов с возможными выбросами в атмосферу токсичных газо-аэрозольных выбросов».**

Математический аппарат для общего описания процесса переноса примеси в атмосфере в виде параболических дифференциальных уравнений второго порядка с переменными коэффициентами достаточно хорошо разработан и используется уже много лет. Системы уравнений в частных производных, содержащих гиперболические и параболические операторы также поддаются решению. Разностные схемы с расщепляющимся оператором для общих параболических уравнений второго порядка с переменными коэффициентами доведены до уровня справочного руководства. Однако расчетные схемы существенно усложняются при попытках учета реальных барических полей, ветра, рельефа, не говоря уже об учете микрофизических процессов трансформации самой аэрозольной примеси. Только в последние годы, успехи вычислительных схем и прогресс вычислительной техники, позволил учитывать в уравнениях переноса аэрозольной примеси в атмосфере не только вертикальную неоднородность и динамику реальной атмосферы с переменным по высоте коэффициентом турбулентной диффузии, параметр шероховатости или изменение альбедо подстилающей поверхности, но и процессы трансформации самой переносимой примеси (микрофизика, коагуляция, вымывание, распад и т.д.).

Таблица 2. Условный коэффициент устойчивости приземной атмосферы для некоторых пунктов Грузии

Пункты	Мног. сред.	Абс. Мин.	Абс. Макс.	Макс скор. ветра	$\frac{ AT }{T}$	$\frac{1}{\gamma_{\max}^2}$	М'
Гагра	14.1	-13	40	-	3.760	0.040	15.0
Сухуми	14.1	-12	40	-	3.690	0.040	14.8
Поти	14.4	-11	41	5.1	3.610	0.038	13.7
Батуми	14.4	-8	40	-	3.330	0.040	13.3
Побер. Чер.мор.	14.25	-11.0	40.2	5.0	3.560	0.040	14.2
Зугдиди	13.8	-19	40	3.1	4.275	0.104	44.9
Самтредиа	14.4	-17	41	5.1	4.028	0.038	15.3
Кутаиси	14.5	-17	42	8.0	4.069	0.016	6.4
Зап. Грузия	14.2	-17.7	41	5.4	4.070	0.034	14.0
Ахалкалаки	4.9	-38	34	6.7	14.694	0.022	32.7
Ахалцихе	9.0	-32	39	2.6	7.889	0.148	116.7
Боржоми	9.1	-28	37	3.1	7.143	0.104	74.3
Южн. Грузия	7.7	-32.7	-36.7	4.1	9.013	0.060	53.6
Гудаури	2.1	-33	27	2.6	28.571	0.148	422.8
Шови	5.2	-33	32	-	12.500	0.160	200.0

Они	10.0	-27	38	2.4	6.500	0.174	112.8
Горный регион	5.8	-31	32.3	2.5	10.914	0.160	174.6
Гори	10.9	-28	40	4.5	5.872	0.049	28.8
Тбилиси	12.7	-23	35	3.9	4.961	0.066	32.7
Дманиси	7.8	-28	38	-	8.077	0.059	47.6
Гурджаани	12.4	-22	38	3.8	4.839	0.059	28.6
Телави	11.8	-23			5.170	0.069	35.7
Восточ. Грузия	11.04	-24.8	37.8	-4.1	5.491	0.059	32.4

Литература

Цицкишвили М.С. Исследование очищения атмосферы с помощью радиоактивных аэрозолей. // Труды Международного симпозиума «Метеорологические аспекты радиоактивного загрязнения атмосферы». Тбилиси, октябрь 1973 г. Гидрометеоздат, Л., 1974, сс. 150 –156.

Амиранашвили А.Г., Хунджа Т.Г., Цицкишвили М.С. Оценка коэффициента турбулентной диффузии по вертикальному распределению продуктов распада радона. // Труды Международного симпозиума «Метеорологические аспекты радиоактивного загрязнения атмосферы». Тбилиси, октябрь 1973 г. Гидрометеоздат, Л., 1974, сс. 40 – 46.

Лушников А.А., Токарь Я.И., Цицкишвили М.С. Две точно решаемые модели коагулирующих систем с источником частиц. // Доклады АН СССР, т. 256, №5, 1981 г., сс. 1155 – 1158.

Гавашели Ш.Г., Цицкишвили М.С. Некоторые результаты изучения атмосферных аэрозолей в Закавказье. // Труды Закавказского НИИ Гидрометеорологии, вып. 66 (72), Гидрометеоздат, Ленинград, 1980, сс. 18-39.

Петрянов-Соколов И.В., Цицкишвили М.С. Задачи защиты воздушного бассейна. // В кн.: «Сборник материалов научно-практической конференции – Актуальные проблемы экологии». Тбилиси, «Саб. Сакартвело», 1983, сс. 444 - 448.

Цхакая К.Г., Цицкишвили М.С. Дистанционные оценки размеров, концентрации и химизма аэрозолей промышленных выбросов. // В кн. «Труды Всесоюзной конференции «Использование вычислительной техники для решения проблемы охраны окружающей среды в теплоэнергетике». Севастополь, 1988 г. Киев, ИТТФ АН УССР, 1988, сс. 73 –77.

Цицкишвили М.С. Результаты радиоэкологического мониторинга в Закавказье. // Автореферат докторской диссертации. М., 1991, 82 сс.

Цицкишвили М.С. Современное исследование аэрозолей в Закавказье. // Груз.тех. информ. 04 Серия «Геофизика», вып. 2, 1987, 52 с.

ABOUT STABILITY OF THE ATMOSPHERE

Tsitskishvili M.M., Tsitskishvili M.S.

Summary: For the characteristic of stability of an atmosphere which defines ground wind- diffused carry polluting an aerosol, in settlement schemes of carry of an impurity in a ground atmosphere it is offered " conditionally - climatic parameter " m which is calculated on long-term climatic data. This parameter states an adequate estimation of instability of a ground layer of an atmosphere in models of carry of an aerosol impurity. It also is effective for carrying out of preliminary researches on optimum accommodation of the large enterprises with greater cubic capacity toxic emissions in an atmosphere.

Key words: Atmospheric stability, transfer of polluting aerosol.