

О ВОЗМОЖНЫХ ТРАЕКТОРИЯХ ОБЛАКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ КAVKAZСКОГО РЕГИОНА

Сурмава А. А., Кварацхелия Д. У., Кухалашвили В. Г.

*Институт геофизики им. Михаила Нодиа. Тбилиси, 0193, ул. Алексидзе 1.
aasurmava@yahoo.com*

Кавказский регион можно отнести к регионам с повышенным риск-фактором загрязнения окружающей среды [1, 6]. Рельеф региона сложный и специфический, следовательно, и процесс распространения загрязняющего вещества в атмосфере должен происходить особым, характерным для региона, образом. Поэтому исследования возможных путей распространения вредных выбросов в атмосферу Кавказского региона (КР) имеют важное теоретическое и практическое значение.

В настоящей статье, используя методы и модели расчёта переноса загрязнения в атмосфере [2, 3, 5, 7], построена численная модель регионального переноса пассивного загрязняющего вещества в атмосфере КР? и исследованы некоторые актуальные вопросы рассматриваемой проблемы.

Уравнение, описывающее процесс распространения пассивной примеси в атмосфере, можно записать следующим образом:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial q}{\partial \zeta} = \mu \left(\frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} \rho v \frac{\partial q}{\partial \zeta}, \quad (1)$$

где t - время; x, y и z - декартовы координаты, направленные на восток, север и вертикально вверх, соответственно; $\zeta = (z - \delta)/h$ - безразмерная вертикальная координата; $h = H - \delta$ - толщина слоя атмосферы; $H(t, x, y)$ - высота тропопавзы; $\delta(x, y)$ - высота рельефа; q - концентрация загрязняющего вещества в атмосфере; u, v, \tilde{w} - составляющие скорости ветра вдоль координатных осей x, y, ζ , соответственно; $\rho(z)$ - стандартное вертикальное распределение плотности сухого воздуха; μ и ν - коэффициенты горизонтальной и вертикальной турбулентной диффузии, соответственно. $u, v, \tilde{w}, h, \mu, \nu$ - меняющиеся во времени и пространстве функции, которые рассчитываются с помощью региональной модели развития атмосферных процессов на Кавказе [8, 9].

Начальные и краевые условия следующие:

$$\begin{aligned} q &= q_0(x, y, \zeta) \text{ при } t = 0; \\ \partial q / \partial x &= 0 \text{ при } x = 0, X; \quad \partial q / \partial y = 0 \text{ при } y = 0, Y; \\ \nu \partial q / \partial \zeta &= A |v_0| q \text{ при } \zeta = 0; \quad \partial q / \partial \zeta = 0 \text{ при } \zeta = 1. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь $\vec{v}_0 = (u^2(t, x, y, 0) + v^2(t, x, y, 0))^{1/2}$ - скорость ветра на верхней границе приземного слоя $\zeta = 0$. Параметр A - уменьшающаяся по высоте функция [8]. X и Y границы области решения задачи вдоль осей x и y , соответственно.

Численное интегрирование задачи (1) - (2) осуществлено на сетке с узловыми точками $26 \times 24 \times 17$. Использован метод расщепления по координатам и монотонная численная схема [4]. Шаги по горизонтальным координатам равны 50 км, по вертикальной координате - 1/17, по времени - 1 мин.

Проведена серия численных экспериментов, когда облака примеси, с начальным объёмом $(150 \times 150 \times 1,5)$ км³ и концентрацией $q = 10$ у.е. (условных единиц) в начальный момент времени образованы в пограничном слое атмосферы у западной, восточной, северной и южной границ региона и переносятся течениями, которые формируются при обтекании КР западным, восточным, северным и южным фоновыми ветрами, соответственно.

Анализ результатов моделирования показал, что если в начальный момент времени облако загрязняющего вещества находится над восточной частью Чёрного моря (у западной границы области моделирования) и фоновый ветер западный, то в течение первых 12 часов оно, как единая система, перемещается в северо-восточном направлении. В пограничном слое атмосферы облако концентрируется в окрестностях северо-восточной части Чёрного моря и юго-западного склона Главного Кавказского хребта (рис. 1). Под действием адвективного и конвективного переносов и турбулентного перемешивания оно деформируется, одновременно расширяясь в горизонтальном и вертикальном направлениях. Горизонтальная протяжённость облака максимальна на высоте $z \approx 2$ км. Здесь же максимальна и концентрация примеси ($q \approx 4,2$ у.е.), которая быстро уменьшается от центра облака к периферии. Скорость горизонтального перемещения облака загрязнения не одинакова. Она увеличивается по мере увеличения высоты. Поэтому, если за 12 часов нижняя часть облака перемещена лишь на 250-300 км, то её средняя и верхняя части за этот же промежуток времени перемещены на восток на 500 -700 км. В соответствии с этим изменяется и форма облака. В нижней части атмосферы облако загрязняющего вещества имеет округлую форму, а в средней тропосфере - продолговатую, чем-то похожую на наковальню. В последующие моменты времени форма облака загрязнения испытывает значительную деформацию. К моменту времени $t = 24$ ч нижняя часть облака задерживается над Колхидской низменностью и восточной частью Чёрного моря. Её горизонтальное сечение имеет форму круга. В средней части облако растелено на значительной территории над Главным и Малым Кавказскими хребтами, а её горизонтальное сечение имеет эллипсоидальную форму. Неоднородно также и пространственное распределение концентраций загрязняющего вещества. Над Восточной Грузией её максимальное значение в нижнем 1-2 км слое атмосферы в 2-2,5 раза меньше, чем максимальное значение, полученное над Западной Грузией. На высоте $z = 4$ км максимальная концентрация приблизительно равна 1,3 у.е. На этой высоте максимальные значения концентраций получены в трёх областях - в окрестностях западной части Главного Кавказского хребта, Лихского хребта и в центральной части Малого Кавказского хребта. Конвективный перенос вызывает распространение вещества до больших (≈ 10 км) высот. Однако выше 7 км концентрация примеси мала.

При $t = 48$ ч облако загрязнения перемещено на восток на значительное расстояние и фактически начинает выходить из Кавказского региона. В этот момент времени, как и в $t = 24$ ч, концентрация вещества максимальна в нижнем 1-3 км слое, но она уменьшена почти в 20 раз по сравнению с её начальным значением.

На рис. 2 показаны изолинии концентрации загрязняющего вещества q и вектор скорости ветра в зональной плоскости хоз при $t = 12$ ч. Из рисунка видно, что два горных хребта (Лихский и Главный Кавказский), препятствуя распространению загрязняющего вещества, способствуют разделению цельного облака и образованию трёх ячеек внутри него. Такой характер переваливания облака загрязняющего вещества получен только в районах высоких хребтов, где высота хребта превышает 2 км. В случаях невысоких хребтов облако переваливает через хребет как единое целое образование, принимая схожую с кометой форму.

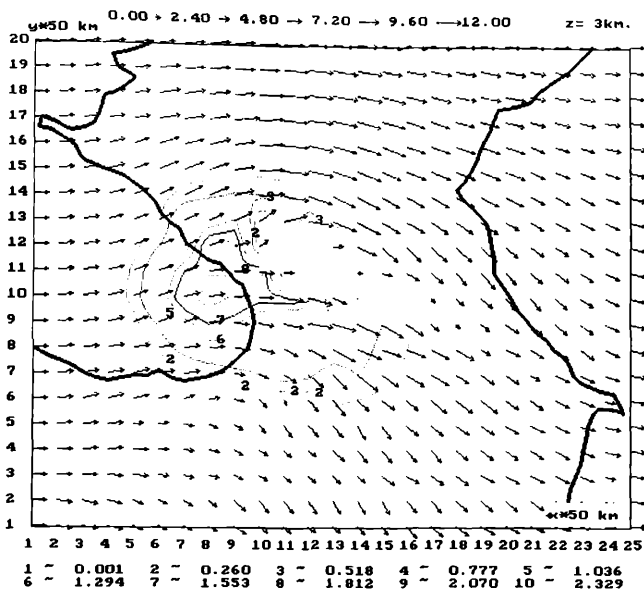


Рис. 1. Изолинии концентрации q (у.е.) и вектор скорости ветра (м/с) на высоте $z = 3$ км при $t = 12$ ч.

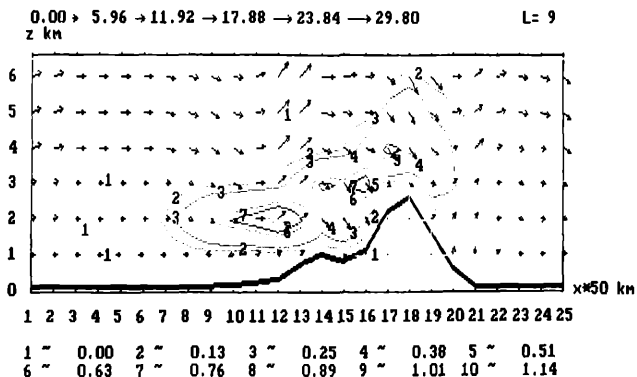


Рис. 2. Изолинии концентрации q (у.е.) и вектор скорости ветра (м/с) в плоскости xoz ($y = 9 \times 50$ км) при $t = 12$ ч.

Исследования возможных траекторий перемещения загрязняющего вещества показали, что они существенно зависят от начального положения облака. При смещении начального положения облака на север на 150 км относительно выше рассмотренного положения, существенно изменяется путь его дальнейшего распространения. Облако обходит Закавказье с северо-западной стороны, распространяясь в основном вдоль северного склона Главного Кавказского хребта. Если же

начальное положение облака находится южнее на 150 км, то картина распространения существенно иная. Верхняя часть загрязняющего облака, которая находится на высоте $z \geq 4$ км от поверхности земли, перемещается вдоль основного течения в сторону Понтийского хребта и юго-западной части Малого Кавказского хребта и в течение 48 часов выносится с территории Кавказа. Нижняя часть облака, вследствие турбулентного перемешивания и нисходящего движения в окрестностях северного склона Понтийского хребта, в течение 12 часов распространяется над юго-восточной частью Чёрного моря. В дальнейшем, при $t = 24$ ч, облако охватывает почти всю восточную часть Чёрного моря и Колхидскую низменность. Оно постепенно переваливает через Лихский хребет и распространяется над территориями, расположенными вдоль реки Куры. К моменту времени $t = 48$ ч следы загрязняющего вещества остаются в воздухе над Колхидской низменностью, Араратской долиной, Мугамской и Ширванской степями. В целом, в течение всего процесса переноса, концентрация загрязняющего вещества в пограничном слое атмосферы почти на два порядка больше, чем в верхней части тропосферы.

При моделировании процесса переноса загрязняющего вещества северным фоновым ветром получено, что облако вещества, образованное в начальный момент времени на севере Кавказа, распространяется над Закавказьем тремя основными путями. Если в начальный момент времени облако сформировано над северо-западной частью Кавказского региона, то в последующее время оно распространяется над Закавказьем, в основном обтекая и частично переваливая через западную часть Главного Кавказского хребта. На пути своего распространения загрязняющее вещество задерживается Понтийским хребтом, и в воздухе над приземным слоем атмосферы Колхидской низменности оно остаётся и после 78 часов, когда основная масса вещества уже вышла из рассматриваемой области. Качественно аналогичная картина переноса примеси получена и тогда, когда облако загрязняющего вещества в начальный момент времени находится над северо-восточной частью Кавказского региона. В этом случае оно переносится антициклоническим вихрем, обходит Главный Кавказский хребет с северо-восточной стороны, проходит над Картлийской равниной и через центральную и южную части Малого Кавказского хребта выходит из региона. Если в начальный момент времени облако загрязняющего вещества образовано севернее центральной части Кавказского региона, тогда оно, приближаясь к Главному Кавказскому хребту, делится на западное и восточное облака, каждое из которых перемещается по вышеописанной схеме.

Процесс регионального переноса загрязняющего вещества, образованного над южной частью Кавказского региона, в случае обтекания рельефа южным фоновым ветром, существенно отличается от описанного выше процесса. В этом случае, перенос загрязняющего вещества на север происходит только двумя путями. Если в начальный момент времени облако расположено к западу от середины южной границы региона, то оно обходит Малый Кавказский и Главный Кавказский хребты по часовой стрелке. Если же в начальный момент времени облако расположено в центре или к востоку от середины южной границы региона, то оно распространяется по центру и обходит Малый Кавказский и Главный Кавказский хребты против часовой стрелки. В обоих случаях получена задержка загрязнения на уровне приземного слоя атмосферы над Колхидской низменностью, Араратской долиной, Картлийской равниной, Ширванской и Мугамской степями.

Особенностью восточного переноса загрязняющего вещества является то, что в начале процесса облака, образованные над большей частью восточной границы региона, заходят над равнинами, расположенными между Малым и Главным Кавказскими хребтами. В последующее время загрязняющее вещество переносится вдоль Ширванской и Мугамской степей и через Картлийскую равнину попадает в Колхидскую низменность. Часть загрязняющего вещества распространяется также вдоль Араратской долины и приблизительно через 24 - 48 часов, переваливая через Малый Кавказский хребет, попадает на территорию Колхидской низменности. Среднее время переноса загрязнения с востока на запад в пограничном слое атмосферы составляет около 90-100 часов, а в средней тропосфере - около 48-70 часов.

С помощью рис. 3 иллюстрируются основные направления переноса центров облаков примеси в пограничном слое атмосферы в случаях существования четырёх основных типов фонового движения. Они построены путём обобщения результатов расчётов, моделирующих распространение условного загрязняющего вещества при разных начальных положениях облака загрязнения и скоростях фонового ветра. На рис. 3 стрелками показаны направления движения зон максимальных концентраций вещества в пограничном слое атмосферы.

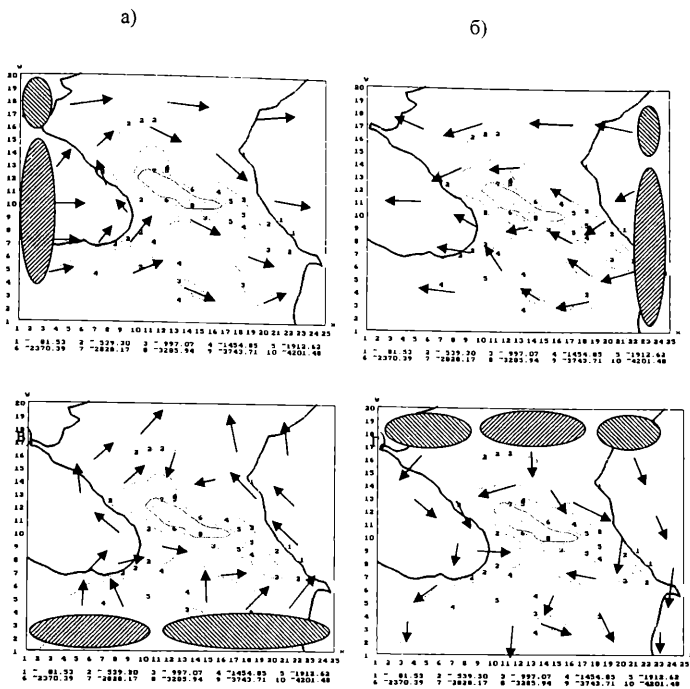


Рис. 3. Схемы перемещения зон максимальных концентраций, полученных при различных начальных положениях облаков ЗВ (тёмные эллипсоиды) в случаях: а) – западного; б) – восточного; в) – южного; г) – северного фонового ветров (изолинии показывают высоту рельефа).

Видно, что траектории их перемещения существенно зависят от начального положения облака. Зоны максимальных концентраций в окрестностях высоких орографических преград перемещаются вдоль боковых склонов хребтов. В окрестностях невысоких хребтов преобладает перетекание загрязнения через хребты. Лихский хребет играет важную роль в процессе распространения загрязнения в регионе. При северном и южном фоновых ветрах он препятствует распространению загрязнения из Западной Грузии в Восточную Грузию и наоборот. В случаях восточного и западного фонового ветров в пограничном слое атмосферы перенос загрязнения осуществляется через узкую полосу атмосферы, расположенной над Рикотским перевалом на Лихском хребте. В свободной атмосфере перенос загрязнения происходит вдоль направления фонового ветра без существенного изменения траектории движения. Приведённая схема, в общих чертах, справедлива и при других направлениях, близких к основным направлениям фонового ветра, и слабо зависит от величины скорости ветра.

Литература

1. Гуния З., Сванидзе З., Картвелишвили Л. Некоторые результаты исследования химического состава изменения атмосферы. Труды Института гидрометеорологии АН Грузии, 1998, т.101, с.174-183 (на груз. языке)
2. Берлянд М. Е. - Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы.- Л.: Гидрометеиздат, 1975, 348 с.

3. Марчук Г. И. - Математическое моделирование в проблеме окружающей среды.- М.: Наука, 1982, 316 с.
4. Марчук Г. И. - Численные методы в прогнозе погоды.Л.: Гидрометеиздат, 1967, 356 с.
5. Пененко В. В, Алюян А. Е. - Модели и методы для задач охраны окружающей среды.- Новосибирск: Наука, 1985, 256 с.
6. Саралидзе Р. - Оценка выбросов производственных предприятий и автотранспорта в районах антропогенного воздействия Западной Грузии.-Труды Института гидрометеорологии АН Грузии, 2001, т. 104, с.212-218 (на груз. языке).
7. Aloian A. E, Arutinian B. O., Luzan P. I. Numerical modeling of regional and global transport and coagulation of radioactive aerosol from hypothetical accidental sources.- J. Aeros. Sci., 2000, v. 31, Suppl. 1, pp.420-421.
8. Kordzadze A., Surmava A. A non-adiabatic model of the development of the middle scale atmosphere process above the Caucasian Region.- J. Georgian Geophys. Soc, 2001, vol. 6B, pp. 33-40.
9. Kordzadze A., Surmava A. Demetrashvili D., Kukhalashvili V., Kacharava G. Numerical modeling of air motion over the Black Sea.- J. Georgian Geophys. Soc, 2005, vol. 10B, pp. 21-27.

კამპანის რეპორტის ატმოსფეროში დაბინძურების ღრუბლების ბადადგილების შესახებ ტრამპტორიის შესახებ

სურმავა ა., კვარაცხელია დ., კუხალაშვილი ვ.

რეზიუმე

მინარეის გადატანა-დიფუზიის განტოლების რიცხვითი ინტეგრირების საშუალებით გამოიკვლეულია ატმოსფეროში პასიური დამაბინძურებელი ნივთიერების შესახებ გაერცელეზა კავკასიის რეგიონის ატმოსფეროთეის დამახასიათებელი ოთხი ძირითადი ტიპის ფონური დინების შემოხვევაში. მოდელირებისათვის აუცილებელი მეტეოროლოგიური ევლების მნიშვნელობები გამოითვლებიან კავკასიაში ატმოსფერული პროცესების განვითარების რეგიონალური მოდელის საშუალებით. ნაჩვენებია, რომ რეგიონის რელიეფი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დამაბინძურებელი ნივთიერების გაერცელეზაზე ატმოსფეროს სასაღერო ფენაში. შედგენილია მაქსიმალური კონცენტრაციების შესახებ გადაადგილების სქემა დამაბინძურებელი ნივთიერების ღრუბლის სხვადასხვა საწყისი მდებარეობის შემოხვევაში.

О ВОЗМОЖНЫХ ТРАЕКТОРИЯХ ОБЛАКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ КAVKAZСКОГО РЕГИОНА

Сурмава А. А., Кварацхелия Д. У., Кухалашвили В. Г.

Реферат

Путем численного интегрирования уравнения переноса-диффузии примеси исследуются возможные распространения пассивного загрязняющего вещества в атмосфере при четырех, характерных для Кавказского региона типах фонового движения воздуха. Необходимые для моделирования метеорологические поля рассчитываются с помощью региональной модели развития атмосферных процессов на Кавказе. Показано, что рельеф региона существенно влияет на

перемещение загрязняющего вещества в пограничном слое атмосферы. Составлена схема возможного перемещения зон максимальных концентраций примеси при различных начальных положениях облака загрязняющего вещества.

ABOUT POSSIBLE TRAJECTORIES OF POLLUTING CLOUDS IN THE ATMOSPHERE OF THE CAUCASIAN REGION

A. Surmava, D. Kvaratskhelia, V. Kukhalashvili

Abstract

By numerical integration of the transfer-diffusion equation the possible distributions of passive polluting substance in the atmosphere for four types of background air flow characteristic for the Caucasian Region are investigated. The fields of meteorological elements necessary for modeling are calculated with the help of regional model of development of atmospheric processes on the Caucasus. It is shown that the Caucasian Region relief essentially influences on the polluting substance distribution in the atmospheric boundary layer. The scheme of possible transfer of the maximal concentration zones at various initial positions of polluting clouds is obtained.