

УДК 551.52 (575.2) (04)

ДАЛЬНИЙ ТРОПОСФЕРНЫЙ ПЕРЕНОС АЭРОЗОЛЯ

Э.Ю. Зыскова – вед. инженер,
Л.Г. Свердлик – зам. директора ЛСТ

A classification of air masses direct trajectories from different sources of aerosol contamination was carried out. The probable back trajectories transforming into the direct ones for Central Asian region, caused by long-distant tropospheric transference of the aerosol to the lidar station Teplokluchenka, was calculated. The authors have explained a hypothesis of increased glaciers thawing in the region.

Введение. Выявление причин таяния ледников Центральной Азии за счет антропогенного аэрозольного загрязнения и проблема возможных эффектов, связанных с Атмосферными Коричневыми Облаками и Азиатской пылью, являются одними из важных региональных задач в настоящее время. Настоятельная необходимость решения указанных задач очевидна, если учесть роль водных и гидроэнергетических ресурсов в формировании экономики региона. Причем всем известное утверждение о ведущей роли увеличения антропогенного углекислого газа на потепление климата ныне, по данным последних исследований, не совсем очевидно. Так, в соответствии с [1], “в последнее время ощущается скорее глобальная нехватка углекислого газа в атмосфере Земли (0,035% – это уже очень мало!), чем его пугающие превышения, а проведенные расчеты показывают, что при прекращении поступления углекислого газа в атмосферу растения исчерпают его сегодняшний запас через 8–11 лет, после чего прекращают свое существование растительный мир и, как следствие, животный [2]”. При этом углекислый газ антропогенного происхождения в глобальном углеродном цикле занимает малые доли процента. Рост же CO_2 в последние годы в атмосфере, скорее всего, является следствием действительно наступающего очередного естественного цикла потепления или потепле-

ния за счет антропогенной деятельности, не имеющей связи с выбросами углекислого газа. Во всех известных обоснованиях о ведущей роли в потеплении климата CO_2 совершенно не учитывается вклад аэрозолей различного антропогенного происхождения, в том числе антропогенных паров воды – главного парникового газа, ответственного за 78% парникового эффекта, хотя выбросы CO_2 в последние годы составляют $0,023 \cdot 10^{12}$ т в год, а антропогенные перемещения воды превышают $6 \cdot 10^{12}$ т в год [1]. Таким образом, исследование загрязнения атмосферы аэрозолями как естественного, так и антропогенного происхождения в настоящее время приобретает большую актуальность.

Проведенные нами ранее исследования перемещения воздушных масс (ВМ) в тропосферу над Центральноазиатским регионом по обратным траекториям (ОТ) [11] позволили перейти к построению и анализу прямых траекторий (ПТ) от точки исследований, т. е. путей дальнейшего перемещения загрязненного воздуха, и расчету вероятностей перехода обратных траекторий от различных источников аэрозольного загрязнения в прямые.

Продолжительность переноса аэрозоля обусловлена временем существования в атмосфере основных примесей. Длительность сухого осаждения многих элементов от 2,5 до 20 суток [4]. На основании научно обоснованных

доводов о разумной длительности траекторий [4–10] предложено рассматривать 6 суток: 4 суток ОТ и 2 суток ПТ. Это является достаточным интервалом для учета времени существования в атмосфере легких примесей, перенос которых представляет интерес и позволяет учесть не только различные скорости переноса, но и трансформационные изменения загрязненных воздушных масс.

Дальний перенос основных загрязнений на регион осуществляется в средних слоях тропосферы, а так как высота горных массивов Центрального Тянь-Шаня достигает 4–7 км, то все оценки целесообразно проводить по траекториям, рассчитанным на геопотенциальной поверхности 500 гПа. На более низких уровнях велико влияние сложного рельефа поверхности, а также значительны отклонения расчетных значений ветра от действительного. С высотой влияние вышеперечисленных факторов ослабевает, а в свободной атмосфере (вы-

ше 3,5 км) среднюю скорость действительного ветра можно считать равной скорости геострофического ветра, направленного вдоль изогипс. Именно этим обусловлен выбор изобарической поверхности 500 гПа для построения траекторий переноса воздушными массами аэрозоля в исследуемый регион.

Классификация прямых траекторий воздушных масс. При рассмотрении движения воздушных потоков с различными физическими характеристиками и свойствами важно знать не только, откуда они перемещаются, но и куда. Для изучения этого вопроса было построено соответственно 630 прямых траекторий (ПТ) перемещения ВМ, определено направление каждого типа воздушной массы и их повторяемость.

Направление перемещения воздуха по ПТ определялось по 16 румбам, а затем в зависимости от длины траектории – по географическим объектам (рис. 1).

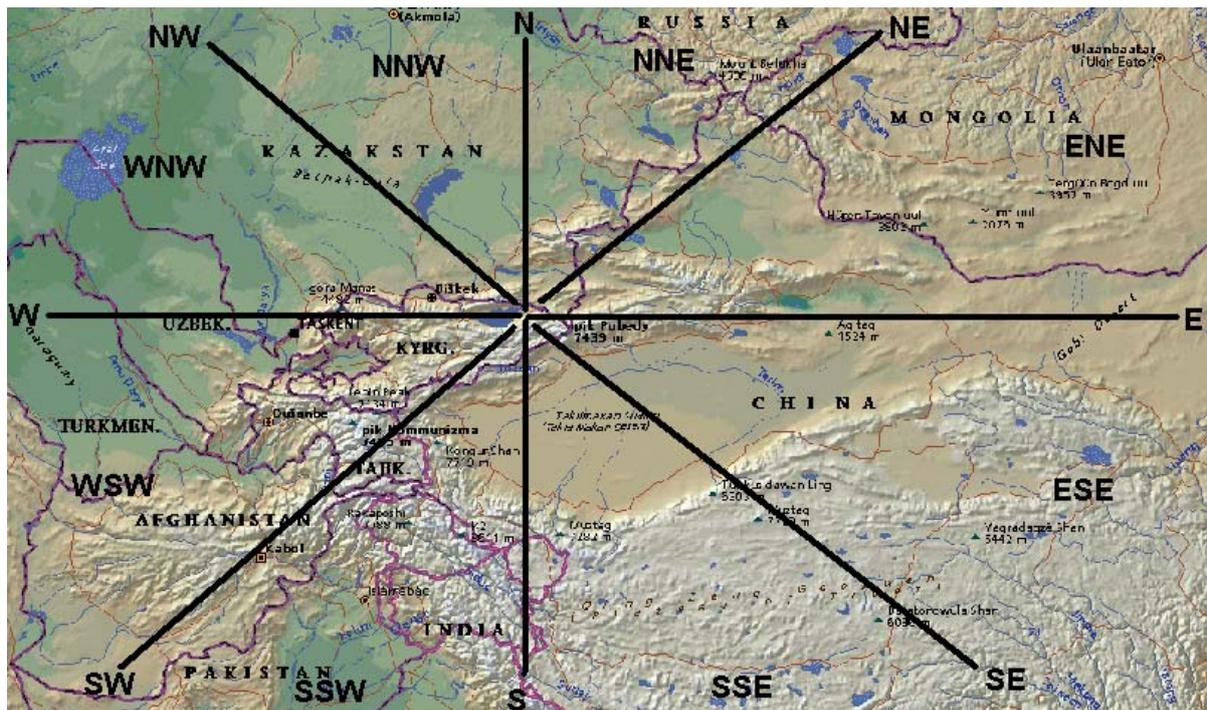


Рис. 1. Направления прямых траекторий от точки исследований.

В результате были выявлены следующие основные направления и географические объекты перемещения воздушных масс:

Север (С) – Казахский мелкосопочник.
Север-северо-восток (ССВ) – Западный Алтай.

Северо-восток (СВ) – Джунгарская впадина, Монгольский Алтай, Саяны и далее.

Восток-северо-восток (ВСВ) – Восточный Тянь-Шань, Джунгарская Гоби, Монгольский Алтай и далее.

Восток (В) – Юго-Восточный Тянь-Шань, Пустыня Гоби.

Восток-юго-восток (ВЮВ) – восток пустыни Такла-Макан, Пустыня Алашань (Китай).

Юго-восток (ЮВ) – пустыня Такла-Макан, северо-восточный Тибет.

Юг-юго-восток (ЮЮВ) – пустыня Такла-Макан.

Юг (Ю) – запад пустыни Такла-Макан.

Юго-запад (ЮЗ) – Памир.

Запад (З) – Западный Тянь-Шань.

Запад-северо-запад (ЗСЗ) – пустыня Мойынкум.

Северо-запад (СЗ) – западный Балхаш, пустыни Таукум, Бетпак-Дала.

Север-северо-запад (ССЗ) – Прибалхашье.

Повторяемости основных, наиболее часто встречающихся направлений траекторий представлены на рис. 2.

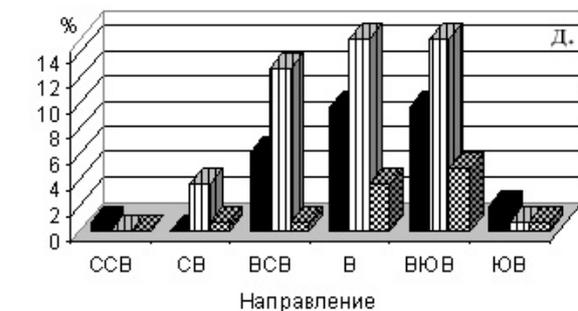
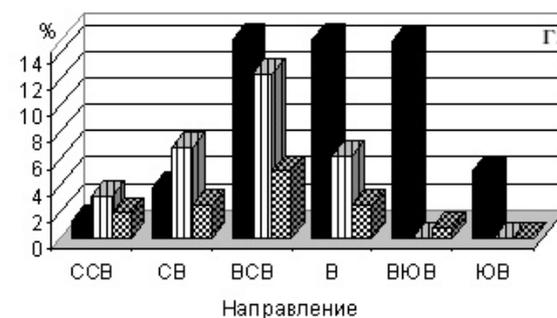
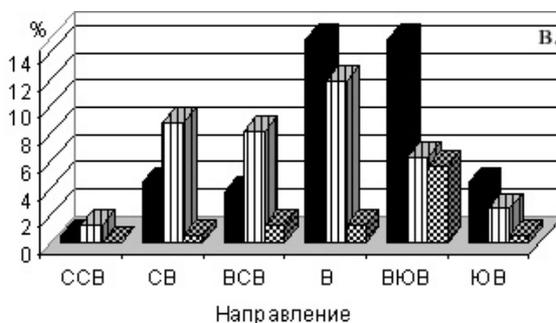
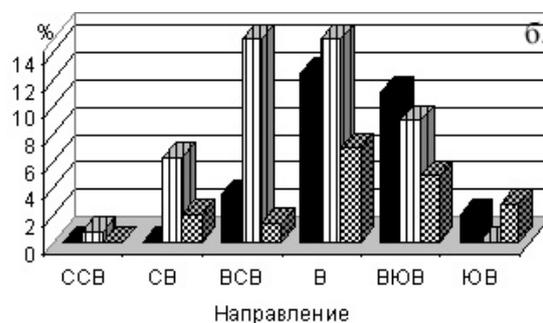
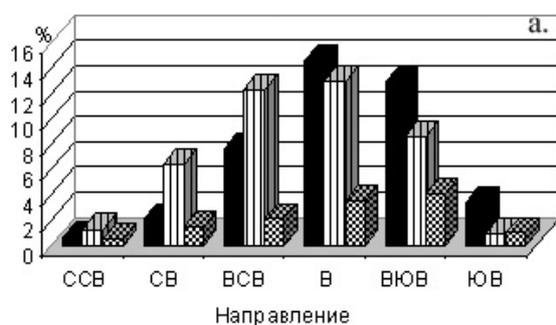


Рис. 2. Повторяемость (%) прямых траекторий по направлениям:

а – в 2002–2003 гг., б – зимой, в – весной, г – летом, д – осенью

■ – теплые ВМ, ▨ – холодные ВМ, \ – трансформировавшиеся ВМ.

▩ – трансформировавшиеся ВМ.

▧ – трансформировавшиеся ВМ.

▨ – трансформировавшиеся ВМ.

Наиболее ярко в годовом ходе повторяемости направлений прямых траекторий выра-

жены В, ВЮВ и ВСВ направления, составляющие 78,4% (31,1, 25,4 и 21,9 % от всех слу-

чаев соответственно) (рис. 2а). На гистограмме хорошо видно, что при наличии южных составляющих преобладают теплые воздушные массы, при наличии северных – холодные. Так, например, при ВЮВ направлении траектории с ТВ массами составили 51%, к которым можно добавить и 16% трансформировавшихся ВМ в теплые, тогда как траектории с ХВ массами составили 34%.

При СВ направлении траектории с ТВ массами составили всего 21% плюс 15% трансформировавшихся ВМ, а траектории с ХВ массами – 64%. Аналогичное распределение наблюдалось и зимой (рис. 2 б), когда преобладали В (37,5%), ВЮВ (25,0%), ВСВ (20,8%) направления с примерно такой же термической характеристикой воздушных потоков. Похожая картина весной, но здесь термическая контрастность ВМ усиливается, а повторяемость траекторий СВ и ВСВ направлений в сумме равна траекториям ВЮВ направления (рис. 2 в). В остальные сезоны распределение повторяемости направлений несколько иное. Летом (рис. 2 г) преобладает повторяемость ВСВ направления (34,2%) с теплыми воздушными массами, затем В – 24,2%, ВЮВ – 15,5% направлений. Даже при СВ направлении (13,0%) теплые ВМ в сумме с трансформировавшимися в летний период составили одинаковое количество случаев с холодными ВМ. Осенью чаще всего наблюдались траектории ВЮВ направления (33,1%), затем В (29,5%) и ВСВ (19,3%). В этот сезон отличалась обратная тенденция – увеличение количества траекторий с холодной ВМ (рис. 2 д).

Повторяемость прямых траекторий, направленных на запад, или имеющих преимущественно западную составляющую, не превышала 5 случаев, поэтому такие траектории не рассматривались.

Помимо рассмотренных направлений несколько траекторий совершали путь по кругу, т.е. начинали путь в одном направлении, а заканчивали – в обратном. Такая ситуация наблюдалась чаще всего при образовании в средних и верхних слоях тропосферы небольшого высотного циклона, где и происходило “закручивание” воздушной массы.

Если рассматривать траектории по четырем основным направлениям (С, В, Ю, З),

можно отметить (рис. 3), что восточные траектории направлены на Восточный Тянь-Шань, а далее в зависимости от северной или южной составляющих на Монгольский Алтай, пустыню Гоби, пустыню Алашань и далее. Эти траектории значительно преобладают над остальными и составляют в сумме 86,4%. Остальные направления траекторий наблюдались очень редко. Северные направления ВМ на Казахстан составили 8,1%.

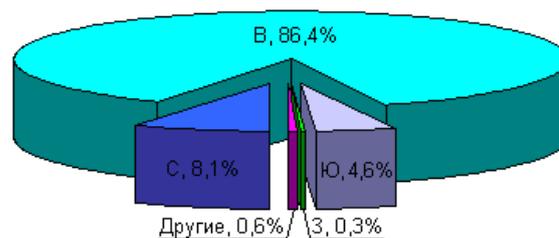


Рис. 3. Повторяемость основных направлений прямых траекторий.

Южные траектории наблюдались в 4,6% случаев и были направлены преимущественно на пустыню Такла-Макан, в отдельных случаях на Памир или северо-восток Тибета. В западных направлениях на Западный Тянь-Шань, пустыню Мойынкум воздух перемещался крайне редко (0,3%).

Вероятности переходов обратных траекторий в прямые. Различные типы обратных траекторий от источников загрязнения до точки исследования продолжают путь по различным направлениям. Наиболее показательные вероятности перехода ОТ в ПТ приведены на рис. 4. Наибольшее количество всех типов воздушных масс продолжали путь в восточном направлении. Вероятность дальнейшего пути ВМ с Северной Африки (тип I) на В составляла 44,9%, ВЮВ – 28,6%, ВСВ – 12,2%, ЮВ – 8,2%, причем на долю теплых ВМ приходилось 40,8% траекторий восточного направления. Небольшое количество траекторий с холодным воздухом смещается от Тянь-Шаня практически во всех направлениях с восточной составляющей с вероятностью 2–6%.

Воздух, трансформировавшийся из холодного в теплый, перемещается преимущественно в ВЮВ направлении с вероятностью 8,2%. По другим направлениям трансформировав-

шие ВМ перемещались редко (по одному случаю).

Обратные траектории типа II, несущие воздух с Ближнего Востока, – самая многочисленная группа, поэтому и разброс прямых траекторий при движении от Тянь-Шаня тоже разнообразен (рис. 4 а). Наибольшее их количество перемещалось в направлении на В (29,5%), ВЮВ (28,5%), ВСВ (23,2%), несколь-

ко реже на СВ (9,2%) и ЮВ (6,8%). Соотношение теплой к холодной воздушной массе при В и ВЮВ направлениях можно рассматривать как 2:1, при ВСВ–1:1, при СВ–1:2. В этой группе траекторий трансформировавшиеся ВМ наблюдались при всех основных направлениях с вероятностью 1,4–5,3%.

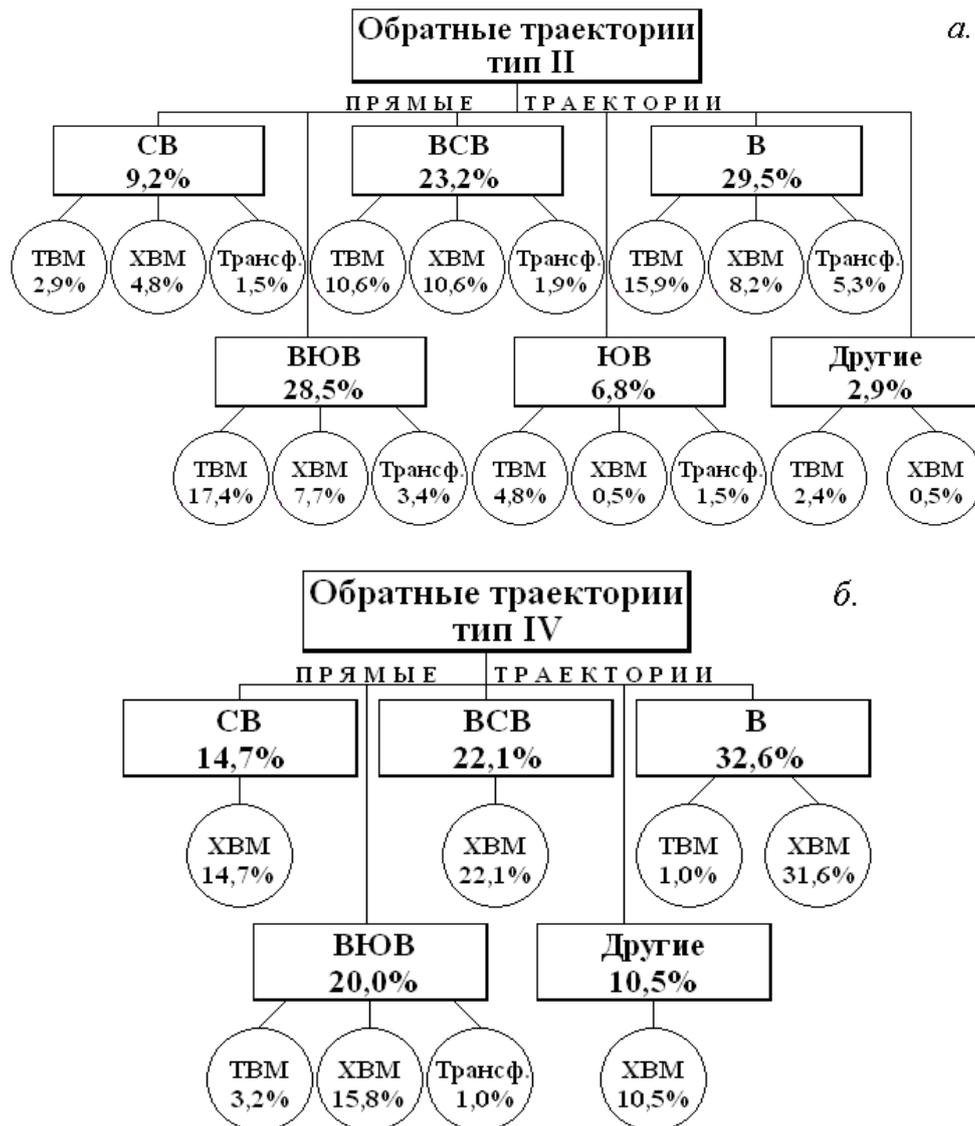


Рис. 4. Вероятности переходов обратных траекторий в прямые.

Обратные траектории типа III характеризуются зональным переносом, поэтому больш-

шая их часть продолжает путь в восточном направлении (30,2%) с небольшими отклоне-

ниями к ВСВ (23,0%) и ВЮВ (20,9%). Так как эти траектории переносят больше холодный воздух, то и направления с северными составляющими отмечены существенно больше (ССВ и СВ направления встречались в 16,5% случаев). При В и СВ направлениях преобладают холодные ВМ, при ЮВ – теплые. Трансформировавшиеся ВМ перемещались по всем основным направлениям со средней вероятностью 3%.

На рис. 4б показаны вероятные переходы направлений прямых траекторий ВМ, пришедших с северных районов Казахстана (тип ОТ IV). В этой группе преобладают восточные траектории с северной составляющей: вероятность дальнейшего движения ВМ по траектории на В – 32,6%, ВСВ – 22,1%, СВ – 14,7%. Вероятность перехода в ВЮВ направления также велика – 20,0%, что в сумме составляет 89,5%. Практически все траектории этой группы несут холодный воздух.

Воздух, поступивший в регион с южных пустынь Центральной Азии (тип ОТ V), далее перемещается чаще всего в В (29,1%) и ВЮВ (28,4%) направлениях, чуть реже в ВСВ (23,1%). Вероятность перехода ОТ V в восточное направление составляет 80,6%. Совсем редко переходы осуществлялись в СВ (8,2%), ЮВ (4,5%) и ССВ (3,7%) направления. Почти по всем направлениям преобладали теплые массы воздуха.

Траектории типа VI наблюдались крайне редко, всего 8 случаев за 2 года. Почти все они смещались по ПТ в направлениях с северной составляющей и имели очень малую скорость движения. Как правило, направление траекторий этого типа связано с движением воздуха в высотном циклоне.

Заключение. Основными поставщиками загрязнений в тропосферу региона являются воздушные массы, перемещающиеся по ОТ типов II, III, V над пустынями Ближнего Востока, Центральной Азии, степями и полупустынями Приволжья и Казахстана. Причем оказалось, что наиболее загрязнена аэрозолем теплая ВМ, так как при перемещении холодных и части трансформировавшихся воздушных масс срабатывает механизм самоочищения воздуха при сухом осаждении и выпадении аэрозоля с осадками, а при движении теплого

воздуха этот механизм работает слабо, так как поток в большинстве случаев несет недостаточное количество влаги. Замечено, что загрязнение тропосферы резко увеличивается при смене теплой воздушной массы на холодную, так как при этом усиливаются вертикальные потоки, а при подходе к горам и конвективные движения воздуха.

По полученным данным можно оценить вклады установленных нами в [11] крупных регионов-источников в загрязнение тропосферы над горным Центральноазиатским массивом.

Основная часть прямых траекторий направлена на восток, т.е. воздушный поток несет всю загрязненную массу на восточный Тянь-Шань, независимо от скорости перемещения и источников загрязнения, что оказывает влияние на загрязнение не только тропосферы, но и ледников, находящихся на высотах более 3,5–4,0 км. Это дает основания полагать, что вероятными причинами ускоренного таяния Тянь-Шаньских ледников могут быть:

1) преобладающие переносы загрязнений в восточном направлении, связанные с вторжением на регион теплых тропических воздушных масс с большой аэрозольной загрязненностью;

2) увеличение роли антропогенного фактора, к которому можно отнести, например, выбросы нефте-, угле-, газодобывающих и перерабатывающих предприятий Казахстана, увеличение автотранспорта больших городов и много других факторов [6]. При этом немалую роль играют коричневые облака, перенос которых на регион происходит от разных региональных источников и в результате дальнего переноса.

Мощность и интенсивность выбросов антропогенных источников загрязнений на различных территориях и при разных циркуляционных условиях неодинаковы. Для количественной оценки загрязнения атмосферы конкретными источниками необходимы сведения о распределении мощности выбросов источников, что выходит за рамки данной работы.

Литература

1. Щадов М.И., Ткаченко Н.Ф. Киотский протокол и отечественный ТЭК // Уголь. – 2004.

- Май.
2. *Болдырев В.* Атмосферным кислородом по глобализации и кредиторам. // Промышленные ведомости. – 2001. – №5–6 (март).
 3. *Белоусов С.Л., Пагава Т.С.* О расчете траекторий воздушных частиц // Тр. Гидрометцентра СССР. – 1991. – Вып. 310.
 4. *Виноградова А.А., Пономарева Т.Я.* Воздухообмен в Российской Арктике весной и летом 1986-1995 гг. // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. – 1999. – Т. 35. – № 5. – С. 588–595.
 5. *Горячев А.М., Выменкина М.Ф.* Метод расчета траекторий воздушных частиц на основе изэнтропического анализа. / Тр. САНИГМИ. – Вып. 156 (237). – Ташкент. – 1998. – С. 86–90.
 6. *Диких А.Н.* Атмосферная циркуляция и химическое загрязнение ледников Тянь-Шаня. // Метеорология и гидрология в Кыргызстане. – Вып.2. – Бишкек, 2002. – С. 126–133.
 7. *Зыскова Э.Ю., Когай Г.А.* Методологические вопросы анализа трансграничного переноса аэрозоля в тропосфере над Тянь-Шанем // Вестник КРСУ. – Т.5. – №3. – 2003. –С. 107–115.
 8. *Куценогий К.П., Смирнова А.И.* Метод обратных траекторий для идентификации источников атмосферных аэрозолей регионального и глобального масштабов. // Оптика атмосферы и океана. – 2001. – Т. 14. – №6–7. – С. 510–514.
 9. *Heffter J.L.* Air Resources Laboratories Atmospheric Transport and Dispersion Model (ARL-ATAD) // Tech. Memo. ERL-ARL-80, NOAA. – 1980. – P. 32.
 10. The German Aerosol Lidar Network: Methodology, Data, Analysis / MPI Meteorology Report. – Hamburg, 2001. – N 317.
 11. *Zyskova E.Y.* Long-distance transport of aerosol. / In: Chen B.B., Sverdlik L.G., Kozlov P.V. Optics and microphysics of atmospheric aerosol. – Bishkek, 2004. – Ch.5. – P. 157–179.