ВСЕМИРНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION.

(Special'nyj otčet po problemam

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ОТЧЕТ ПО ПРОБЛЕМАМ

okružajuščej sredy

ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ № 2

Izbrannye doklady

Избранные доклады

meteorologija i okružajuščaja

Метеорология и окружающая

čelovieka sreda

человека среда

1971

ВМО - № 312

Секретариат Всемирной Метеорологической Организации - Женева - Швейцария

ПРИМЕЧАНИЕ

Употребляемые здесь обозначения и оформление материала не должны рассматриваться как выражение какого бы то ни было мнения со стороны Секретариата Всемирной Метеорологической Организации относительно правового статуса той или иной страны или территории или ее властей, или относительно делимитации ее границ.

Работа отдельных авторов необязательно отражает точку зрения Организации, и ответственность за все мнения и информацию, изложенные в настоящей публикации, несут авторы, которые их представили.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

В выпущенной ранее публикации под названием « Краткий обзор деятельности Всемирной Метеорологической Организации, связанной с окружающей человека средой » * был сделан обзор программы ВМО по взаимодействию человека и окружающей его среды, где особое внимание уделялось вопросам наблюдения за атмосферой, атмосферного загрязнения, климатологии городов, воздействия на погоду и климат и загрязнения океана.

Со времени выхода этой публикации в июне 1970 г. Организация уделяла очень большое внимание вопросам, связанным с окружающей человека средой. В частности, этой теме были посвящены научные дискуссии, проведенные во время созываемого раз в четыре года Всемирного Метеорологического Конгресса в апреле 1971 г. Избранные ученые прочли основные лекции по каждой из следующих тем :

крупномасштабные атмосферные проблемы и их возможное влияние на глобальные климаты ;

взаимосвязь между человеком и окружающими его климатами и

проблемы окружающей среды, связанные с гидрологией.

Кроме того, ряд более коротких сообщений был сделан признанными экспертами в этой области для развития вопросов, изложенных в основных лекциях.

Организация также стала активно заниматься подготовкой к конференции Организации Объединенных Наций по окружающей человека среде (Стокгольм, июнь 1972 г.). В частности, секретариату конференции был представлен ряд основных документов с целью оказания помощи в выполнении его задачи по подготовке основополагающих документов по различным вопросам, предназначенных для рассмотрения на конференции. Кроме того, ряд более коротких документов был направлен другим учреждениям Организации Объединенных Наций для оказания им помощи при подготовке их основных документов для секретариата конференции. Для целей конференции этот материал, несомненно, потребуется значительно уплотнить, и поэтому большая часть его, возможно, не будет включена в окончательную документацию для конференции. В соответствии с этим было решено опубликовать полностью большинство из этих материалов, организованных ВМО и предназначенных для конференции.

Можно легко увидеть, что лекции, прочитанные на Всемирном Метеорологическом Конгрессе, и документы, подготовленные ВМО для упомянутой конференции Организации Объединенных Наций, взаимно дополняют друг друга, и это привело к логическому решению выпустить их совместно в настоящей публикации.

---

* Сейчас она считается первой в новой серии публикаций « WMO special environmental reports » (Специальные доклады ВМО по проблемам окружающей среды). Настоящая публикация является второй в этой серии.

Я хотел бы выразить свою горячую благодарность всем ученым, которые подготовили лекции для Шестого конгресса, а также тем, кто представил материал для документов ВМО, предназначенных для конференции ООН. Я особо признателен д-ру Джеймсу Т. Питерсону за его работу по редактированию большой части материала, изложенного в настоящей публикации.

Д. А. Девис
Генеральный секретарь

РЕЗЮМЕ

Настоящий отчет подразделяется на три главы, в первой из которых рассматриваются вопросы изменения воздушной окружающей среды. Первые три доклада этой главы касаются так называемого загрязнения « низкой концентрации », « фонового загрязнения », которое является глобальным по своему распространению и в которое вносят вклад как человек, так и природа. В четвертом докладе описывается сеть станций ВМО, предназначенных для слежения за этим типом загрязнения. Загрязнение более высоких концентраций, которое концентрируется в индустриальных районах или в столичных районах, является темой остальных документов, помещенных в этой главе. В ней также обсуждается роль метеоролога в борьбе с загрязнением воздуха и в связи с преднамеренным изменением погоды и климата.

Глава II озаглавлена « Метеорология, поселения человека и природные ресурсы ». В этой главе воздух относят к числу естественных ресурсов, и обсуждается вопрос о взаимодействии между человеком и окружающей его воздушной средой. Учет местного климата при размещении завода, крупного здания или аэропорта имеет важное значение, и, конечно, города создают свои собственные « климаты ». Развиваются далее этот, а также другие факторы, такие как применение климатологии к продуктивности растений и животных, лесоводству, туризму, экологическим системам и источникам энергии. Эта глава завершается рассмотрением климатических факторов, связанных с распространением пустынь, а также вопроса о том, каким образом метеорологический прогноз может свести до минимума паводки, засухи и ветровые бури.

Последняя глава касается гидросферы ; здесь рассматриваются вопросы загрязнения океанов, озер, рек и водотоков. Рассматриваются вопросы, касающиеся переобогащения внутренних вод в результате увеличивающихся количеств питательных веществ, а также вопросы, связанные со сбросом тяжелых металлов и их воздействий. Гидрологические наблюдения и прогнозы имеют важное значение при определении настоящего и будущего качества воды внутриматериковых вод. В глобальном масштабе значительная часть загрязнений попадает в океаны через атмосферу. Описывается этот механизм переноса в особенности относительно поступления в океаны свинца, углекислого газа и ДДТ. В последнем докладе настоящего отчета разъясняется необходимость согласованной глобальной системы слежения за морским загрязнением.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Д-р Э. БОБИНСКИЙ, директор Национального института гидрологии и метеорологии, Польша, Варшава 86, Подлесная 61.

Имеет степень доктора наук, полученную в техническом вузе в Москве, СССР. Обучался и завершил свою научную подготовку в Польше, СССР, Нидерландах и США. В течение ряда лет работал в консультационном инженерном бюро по гидросооружениям « Гидропроект » в Варшаве, Польша. Д-р Бобинский участвовал в разработке многочисленных проектов в области использования водных ресурсов и гидростроительства, например, проекта « Висла », осуществление которого было предпринято Польшей в сотрудничестве с ПРООН. Он также был главным инженером проекта строительства Влоцлавекской плотины на реке Висла. Является автором ряда публикаций в вышеупомянутых областях. С 1969 г. — директор Национального института гидрологии и метеорологии.

Профессор Б. Р. Дж. БОЛИН, Стокгольмский университет; директор Международного метеорологического института в Стокгольме, Швеция, Стокгольм 19, S-104 32, П.Я. 19, Тюлегатан 41.

Получив степень доктора философии Стокгольмского университета (1956 г.), был назначен директором Международного метеорологического института в Стокгольме в 1957 г. и является профессором Стокгольмского университета с 1961 г. Работал в качестве научного директора Европейской организации по космическим исследованиям в Париже в период с 1965 по 1967 гг. Являлся председателем Комитета по атмосферным наукам МСНС, который начал осуществление Программы исследований глобальных атмосферных процессов (ПИГАП), в период между 1965 и 1967 гг. и с 1968 г. является председателем Объединенного организационного комитета МСНС и ВМО. Член Королевской Шведской Академии Наук. Основной областью, в которой профессор Болин занимается научной деятельностью, является динамическая метеорология и численные прогнозы погоды, химия и радиоактивность атмосферы и использование радиоактивных трасеров для изучения циркуляции атмосферы и океана. Он опубликовал около 45 научных работ в этих областях.

Профессор М. И. БУДЫКО, директор Главной геофизической обсерватории, СССР, Ленинград, К-18, ул. Карбышева 7.

Директор старейшего Метеорологического научно-исследовательского института СССР (Главная геофизическая обсерватория) с 1954 г.; удостоен высшей научной премии в СССР — Ленинской премии — в 1958 г. Д-р Будыко является членом-корреспондентом Академии Наук СССР с 1964 г. Помимо того, что он является автором многочисленных публикаций по метеорологии и климатологии, д-р Будыко — автор следующих книг : « Испарение в естественных условиях », « Тепловой баланс земной поверхности », « Климат и жизнь ». Он также является редактором двух атласов по тепловому балансу земного шара.

Д-р Дж. П. БРЮС, директор Канадского центра по проблемам внутренних вод департамента по окружающей среде, Канада, Онтарио, Берлингтон.

Директор главного научно-исследовательского учреждения водных проблем, созданного в 1967 г. с целью изучения и проведения обследований основных озерных систем и проведения исследований по проблемам очистки вод, гидравлики и гидрографии. Ранее был начальником отдела Великих озер отделения внутренних вод, специальным советником по водным ресурсам Канадского Секретариата по науке, директором по гидрометеорологии в Канадской метеорологической службе (1959–1966 гг.) и гидрометеорологом при отделе службы охраны природных ресурсов в провинции Онтарио (1955–1958 гг.). Является соавтором двух книг и опубликовал многочисленные статьи по гидрометеорологии и водным ресурсам. Был председателем или членом ряда рабочих групп ВМО по гидрологии и до самого последнего времени являлся президентом Международной ассоциации по изучению Великих озер.

Профессор Тони Дж. ЧАНДЛЕР, Департамент географии, Университетский колледж в Лондоне, Англия, Лондон, WC 1E 6BT, Тоуэр стрит.

Профессор Т. Дж. Чандлер — магистр наук, доктор философии (Лондон), является профессором географии в Университетском колледже в Лондоне. Областью, которой он в наибольшей степени интересуется, является климатология городов, и по этой проблеме им опубликовано много работ. В 1968 г. был ответственным со стороны ВМО за организацию проведенной в Брюсселе международной конференции по климату городов и строительной климатологии, труды которой изданы в 1970 г. Выступал в качестве консультанта правительства и частных организаций по климатологии городов и во многих странах читал лекции по этому вопросу.

Профессор Э. ЭРИКСОН, отдел гидрологии института физической географии университета Уппсалы, Швеция, Уппсала S-75122, П.Я. 554.

Является доктором философии (Стокгольм), занимает должность профессора гидрологии в отделе гидрологии института физической географии университета Уппсалы с 1970 г. Ранее был ассистентом профессора в Международном метеорологическом институте в Стокгольме. В течение двух лет также работал в качестве старшего научного сотрудника в штаб-квартире Международного агентства по атомной энергии в Вене. Принимал участие в деятельности рабочей группы ВМО по атмосферному загрязнению и атмосферной химии (1957–1969 гг.), а в настоящее время является членом группы экспертов Исполнительного Комитета по метеорологическим аспектам загрязнения атмосферы.

Академик Евгений Константинович ФЕДОРОВ, начальник Главного управления гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР, СССР, Москва Д-376, пер. Павлика Морозова 12.

Доктор географических наук (Ленинградский государственный университет), академик Е. К. Федоров является начальником Гидрометеорологической службы СССР с 1962 г. В 1937–1938 гг. был членом арктической экспедиции на первой в мире дрейфующей станции « Северный полюс ». В последующие годы был организатором и первым директором Института прикладной геофизики Академии наук СССР. Является членом Академии наук Монгольской Народной Республики и был вице-президентом ВМО в период с 1963 по 1971 гг. Академик Е. К. Федоров является автором многочисленных работ по геофизике, главным образом, по проблемам физики облаков, активного воздействия на погоду, организации и техники работы гидрометеорологической службы и проблемам взаимодействия человека и окружающей его среды.

Д-р Х. ФЛОН, Институт метеорологии, Боннский университет, Федеративная Республика Германии, Бонн-Эндених 53, Ауф дем Хюгель 20.

Доктор наук (Франкфуртский на Майне университет, 1934 г.), являлся Сотрудником Немецкой метеорологической службы в период с 1935 по 1961 гг., после чего ему было предложено создать новую кафедру метеорологии при Боннском университете. Был приглашенным экспертом или членом различных технических комиссий ВМО и других международных организаций. Его научные интересы относятся главным образом к области глобальной циркуляции атмосферы, тропической метеорологии и климатическим колебаниям, включая палеоклиматологию. Является членом Академии наук земли Рейн-Вестфалия (Дюссельдорф), Немецкой академии естественных наук (Леопольдина, Галле/Саале) и членом-корреспондентом Баварской академии наук (Мюнхен).

Профессор Хельмут Е. ЛАНДСБЕРГ, Департамент геофизических наук, Университет штата Мериленд, США, Мериленд 20742, Колледж Парк.

Профессор Хельмут Е. Ландсберг, являющийся в настоящее время профессором по научным исследованиям и председателем выпускной комиссии по метеорологии университета штата Мериленд, имеет степень доктора философии, полученную им в университете Франкфурта на Майне. На протяжении своей деятельности он занимал несколько академических постов и был директором по климатологии в Бюро погоды США и в службе данных об окружающей среде. Является членом Национальной инженерной академии и членом Американской академии искусств и наук и ряда других известных обществ. Он автор ряда книг и, кроме того, опубликовал в научных журналах большое число статей по метеорологии и геофизике. В течение многих лет принимал участие в деятельности Комиссии ВМО по климатологии и в настоящее время является президентом Комиссии по специальным применениям метеорологии и климатологии.

Д-р Роберт Дж. ЛИСТ, заведующий лабораторией радиоактивности атмосферных ресурсов Национального управления по океану и атмосфере, США, Мериленд 20910, Силвер Спринг.

Магистр наук по метеорологии, д-р Р. Дж. Лист с 1950 г. занимался метеорологическими исследованиями по проблеме переноса и выпадения продуктов ядерного расщепления и по вопросу применения данных об атмосферной радиоактивности при решении метеорологических проблем. В настоящее время является членом рабочей группы ВМО по международным метеорологическим таблицам, членом Американского метеорологического общества и членом Американского геофизического союза. Д-р Р. Дж. Лист является автором или соавтором более чем сорока научных статей и книг по метеорологическим вопросам и редактором Смитсонианских метеорологических таблиц.

Р. А. МАККОРМИК, директор отдела метеорологии (АООС) лаборатории атмосферных ресурсов, НУОА, США, Северная Каролина 27711, Рисерч Трайэнгл Парк.

Директор отдела метеорологии Агентства по охране окружающей среды с 1958 г. по назначению из Национального управления по океану и атмосфере. Председатель группы экспертов Исполнительного Комитета ВМО по метеорологическим аспектам загрязнения атмосферы; активно участвует в другой международной деятельности в области метеорологии загрязнения атмосферы, являясь председателем исследовательских групп Комитета по проблемам современного общества (Comittee on Challenges to Modern Society) и ОЭСР. Д-р Маккормик работал в качестве метеоролога по обменам в Британской метеорологической службе в 1955–1956 гг. и преподавал в Институте теоретической метеорологии Свободного университета Берлина в рамках программы визитов ученых в 1968 г. В настоящее время он является консультантом комиссии НКПОС по наблюдениям. Состоит членом Американского метеорологического общества, Исследовательского общества Америки, и иностранным членом Королевского метеорологического общества в Лондоне.

Д-р Лестер МАЧТА, директор лаборатории атмосферных ресурсов Национального управления по океану и атмосфере, США, Мериленд 20910, Силвер Спринг.

Доктор наук (Массачузетский технологический институт), является директором лаборатории атмосферных ресурсов НУОА в Силвер Спринг, Мериленд. Состоит Членом многих национальных и международных комитетов, включая Всемирную Метеорологическую Организацию и Международный союз геодезии и геофизики. Был делегатом США на Женевской конференции по подготовке договора о запрещении ядерных испытаний в 1958 г. Д-р Л. Мачта проводит и руководит научными исследованиями в области метеорологии загрязнения атмосферы. До середины 60-х годов большую часть времени он посвятил проблемам выпадения радиоактивных осадков. Был удостоен золотой медали Департамента торговли США ; является членом Американского метеорологического общества. Д-р Мачта — автор более пятидесяти публикаций по вопросам метеорологии загрязнения атмосферы продуктами ядерного распада.

Джордж Б. МОРГАН, директор отдела координации и обслуживания Бюро исследований и контроля Агентства по охране окружающей среды, США, Вашингтон О.К. 20460, СВ, 4-я и М. стрит.

Г-н Морган является директором Отдела координации и обслуживания. Ранее он был директором Службы наблюдения за атмосферой при Агентстве по охране окружающей среды в Северной Каролине. Он также являлся директором Службы данных по качеству воздуха и излучению атмосферы при Национальном управлении по борьбе с загрязнением атмосферы. Эта группа выполняла обязанности по слежению за атмосферой и разработке лабораторных методов. Г-н Морган до 1965 г. занимал пост ассистента профессора наук об окружающей среде во Флоридском университете.

Д-р К. О. МЮННИХ, Департамент физики Гейдельбергского университета, Федеративная Республика Германии, Гейдельберг D-69, Философенвег, 12.

Д-р Мюнних является руководителем гейдельбергской лаборатории по углероду-14 и исполняет обязанности директора второго института физики Гейдельбергского университета. Преподает физику и, в частности, изотопную геофизику, т. е. применение изотопных методов при решении специальных проблем метеорологии, геологии и океанографии.

Профессор Моррис НЕЙБЕРГЕР, Департамент метеорологии Калифорнийского университета, США, Калифорния, 90024, Лос-Анджелес.

Получил степень доктора философии в Чикагском университете, окончив Массачузетский технологический институт. Работал в Бюро погоды США в период с 1930 по 1940 гг., в качестве преподавателя Массачузетского технологического института — в 1940–1941 гг., и на факультете Калифорнийского университета, начиная с 1941 г., где был руководителем кафедры департамента метеорологии в период с 1956 по 1962 гг. Является членом Американского метеорологического общества (президент в 1962–1964 гг.), Американского геофизического союза (председатель секции метеорологии в 1961–1964 гг.) и Американской ассоциации по развитию науки (член совета в 1962–1966 гг.). Он является иностранным членом Королевского метеорологического общества в Лондоне. Принимал участие в работе различных комитетов научных организаций, включая Национальную академию наук, и был консультантом в различных правительственных, международных и частных организациях. Опубликовал много статей в сборниках, в метеорологических журналах и других периодических изданиях. За выдающиеся исследования удостоен премии Мейзингера от Американского метеорологического общества.

Д-р Дональд Х. ПАК, заместитель директора лаборатории атмосферных ресурсов Национального управления по океану и атмосфере, США, Мериленд 20910, Сильвер Спринг.

Работая в области метеорологии с 1940 г., д-р Пак с 1954 г. особенно активно занимался исследованиями турбулентности и диффузии, включая применение шаров-зондов постоянного объема (tetroons) для изучения процессов мезомасштабного переноса. Являясь в настоящее время директором программы « Геофизические наблюдения за климатическими изменениями » лаборатории атмосферных ресурсов, он принимает участие в деятельности рабочей группы ВМО по загрязнению атмосферы и атмосферной химии и является членом Американского метеорологического общества, Королевского метеорологического общества, Американского геофизического союза, Нью-Йоркской и Вашингтонской академий наук и других научных организаций. Автор и соавтор более тридцати научных работ и редактор публикации « Метеорология и атомная энергия » издания 1955 г.

Д-р Ф. ПАСКВИЛЛ, руководитель отделения исследований пограничного слоя Метеорологической службы, Англия, Беркшир, Бракнелл, Лондон Роуд.

Д-р Ф. Пасквилл, имеющий степень доктора наук (Дюрам), работает по выполнению специального научного задания Метеорологической службы Соединенного Королевства с целью проведения исследований диффузионного и турбулентного переноса в атмосфере. Является автором книги « Атмосферная диффузия » и опубликовал многочисленные другие работы в этой области.

Д-р Джеймс Т. ПИТЕРСОН, отдел метеорологии Агентства по охране окружающей среды, США, Северная Каролина 27711, Трайэнгел Парк.

Д-р Джеймс Т. Питерсон, доктор философии Висконсинского университета, является метеорологом-исследователем при Агентстве по охране окружающей среды правительства США и адъюнкт-ассистентом профессора метеорологии в университете штата Северная Каролина, Ралей, Северная Каролина. Являлся консультантом Всемирной Метеорологической Организации по проблемам окружающей среды и научного комитета по проблемам окружающей среды Международного совета научных союзов. Принимал участие в исследовании критических проблем окружающей среды, проводившемся в Вильямстауне, штат Массачуветс (1970 г.), и является автором нескольких технических статей.

Профессор Гарриет РИД, школа архитектуры Королевского технологического института, Швеция, Стокгольм 70, 10044.

Г-жа Гарриет Рид является профессором проектирования с учетом условий окружающей среды в школе архитектуры Королевского технологического института в Стокгольме. Имеет степень магистра наук по технологии текстильного производства, которую получила в МТИ, штат Массачуветс, США (1955 г.) и технический диплом отделения отопления и вентиляции Королевского технологического института в Стокгольме (1967 г.). Г-жа Рид была ранее руководителем отделения строительной климатологии Национального шведского исследовательского института по строительству. Активно работала в области наук об окружающей среде и является автором многочисленных специальных статей и публикаций в области климатологии. Профессор Рид состоит членом нескольких международных организаций, проводящих исследования в области строительства, например, Foundaments of Physical Environment (CIE) и рабочей комиссии W 45 МСС Потребности человека и строительное проектирование.

ГЛАВА I

ИЗМЕНЕНИЯ В ВОЗДУШНОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

ПРОБЛЕМЫ КРУПНОМАСШТАБНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ И ЕГО ВОЗМОЖНОЕ ОТРАЖЕНИЕ НА КЛИМАТЕ ЗЕМНОГО ШАРА *

Б. Р. Дж. Болин

ВВЕДЕНИЕ

Очевидно, что климат Земли изменился за последнее время. Эти изменения исчисляются в масштабах времени от десятилетий или столетий до сотень миллионов лет. Климат Земли изменился от суровых ледниковых условий к теплому или жаркому тропическому режиму. Однако, более значительным, чем эти изменения, возможно, является тот факт, что на протяжении около семисот миллионов лет, в течение которых существовала жизнь на Земле, климат изменился лишь в пределах, не представляющих угрозы для выживания. Значительно более интересным, чем сами климатические изменения, которые, безусловно, происходили, была удивительная стабильность, характерная для климата в течение такого продолжительного времени с учетом экстремальных условий, превалирующих во вселенной.

Тем не менее, изменения климата очень важны для человека. Хотя жизнь на Земле и сохранилась несмотря на климатические изменения, человек и цивилизация сегодня более чувствительны к изменениям климата. Вопрос заключается не в том, как человечество может выжить, а как сохранить современную культуру и технический прогресс. Повышение уровня поверхности океана на пять метров вызовет бедствие во многих густонаселенных районах Земли. Однако, за последние десять тысяч лет уровень моря изменился, по-видимому, на 50 метров. Климат, безусловно, изменится в будущем, и человек должен будет принять эти изменения, как направляющие условия своей будущей деятельности.

Возможно, человек сам будет влиять на климат Земли, вводя в атмосферу загрязнители. Вопрос определения, действительно ли это так и каковы последствия такого воздействия, является научным вопросом первостепенной важности для человечества. Многие ученые занимались анализом этого вопроса за последние десятилетия, и полный перечень ссылок был бы очень длинным. Особый интерес, однако, представляет обзорная статья Ландсберга (1970 г.) и работа Уилсона (1970 г.) "Влияние человека на глобальную окружающую среду".

ж Лекция, прочитанная на Шестом конгрессе ВМО.

ПОСЛЕДНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Прежде чем кратко рассматривать некоторые теории изменения климата и пытаться оценить возможные влияния деятельности человека, остановимся на данных, которыми мы в настоящее время располагаем, о прошлых изменениях климата Земли. Однако поскольку в данной работе в основном рассматриваются изменения в масштабе от ста до десяти тысяч лет, мы ограничимся описанием изменений, происшедших после последнего ледникового периода, т.е за последние десять тысяч лет.

Непосредственные измерения режима температуры и осадков у Земли производятся в течение последних ста - двухсот лет. Число точек, в которых за последние сто лет проводились измерения, настолько велико, что можно довольно точно проследить за глобальными изменениями. Митчелл (1970 г.) суммировал их в виде графиков, на которых были показаны изменения с 1870 г. (рис. 1). Регулярное повышение температуры наблюдается как в Северном, так и в Южном полушариях в течение периода, приблизительно, с 1880 по 1940 гг., составляя 0,5°С для района между 60° ю.ш. и 60°с.ш. Эти повышения даже больше, если взять широтный пояс 60°с.ш. - 80°с.ш. Фактически, среднегодовая температура для Шпицбергена за этот период увеличилась приблизительно на 5°С. С 1940 г. наблюдается понижение температуры, которое наиболее ярко выражено в северных полярных районах. Климатические изменения, происшедшие в первой половине века, о которых только что упоминалось, сопровождались отступлением ледников, особенно заметным в Скандинавии. Толщина льда, покрывающего Северный Ледовитый океан, значительно уменьшилась, и южные границы дрейфа льда на севере Атлантического океана отсупили к северу. Таким образом, значительно улучшились условия навигации в районе Шпицбергена.

Несмотря на то, что на период до 1750 г. данных непосредственных наблюдений нет, существует явное доказательство того, что в этот исторический период происходили существенные климатические изменения. Ледники в Скандинавии, например, значительно продвинулись по сравнению с периодом 1600-1750 гг. когда они достигали своего максимального размера, со времени последнего ледникового периода (Альманн, 1953 г.). Фактически, записи показывают, что ледники продвигались на участки, ранее занимаемые человеком, и разрушали здания и обрабатывамые земли. Этот период, исчисляемый в несколько сот лет, был назван "малым ледниковым периодом". С другой стороны, существует доказательство, что примерно в 1000 г. до н.э. в Скандинавии практически не существовало ледников. Во время этого, так называемого, "климатического оптимума" леса вторгались на участки, где сегодня деревья не могут расти.

Наиболее замечательные данные наблюдений были недавно опубликованы Дансгаардом (1969 г.), которые позволяют нам количественно определить, какие температурные изменения имели место за последние десятки тысяч лет. Атмосферный кислород содержит два основных изотопа, O^{18} и O^{16}. Эти два изотопа присутствуют также в воде. Таким образом, два типа воды, существующие в природе, имеют несколько различные физические и химические свойства. Более тяжелая вода, содержащая изотоп O^{18}, имеет давление пара с более низким насыщением. В силу этого, отношение O^{18} к O^{16} конденсированной воды становится разным в зависимости от температуры конденсации. Поэтому изучение этого отношения в дожде или снеге даст информацию об условиях, при которых образуются осадки. Современный ледяной купол, который покрывает Гренландию, представляет собой скопление снега за многие тысячи лет. Сердцевина льда проходит от вершины современного ледяного покрова до поверхности Земли, представляя, таким образом, поперечное сечение осадков за последние сто тысяч лет. Отношение изотопа O^{18} к O^{16} показывает значительные колебания эквивалентной температуры, которые можно вывести на основании отношения изотопов. Однако эта температура совсем не обязательно соответствует температуре на определенном уровне атмосферы, поскольку толща Гренландского купола, а также уровень конденсации в атмосфере, могли измениться со времени, прошедшего после последних крупных оледенений. Тем не менее, изучение этих температурных колебаний представляет большой интерес (рис. 3). Довольно низкие температуры, превалировавшие в XVII и XVIII веках, также хорошо видны, как относительно теплый период, который, очевидно, имел место приблизительно в 1000 г. до н.э. Резкие изменения произошли около десяти тысяч лет назад, которые, по всей вероятности, связаны с быстрым таянием существующих ледников Скандинавии и Северной Америки.

Таким образом, изменения, происшедшие за последние десять тысяч лет, хорошо восстанавливаются различными способами, и они, безусловно, оказали большое влияние на человека и его деятельность. Такие изменения отнюдь не ограничивались полярными районами, а наблюдались также в более низких широтах, что может быть продемонстрировано на примере изучения пыльцы в районе Боготы, Колумбия. Повышение температуры, происшедшее приблизительно десять тысяч лет назад, составляло, очевидно, около 5°С (рис. 4).

ВАЖНЫЕ ПРОЦЕССЫ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ЗА ПЕРИОДЫ ДО НЕСКОЛЬКИХ ТЫСЯЧ ЛЕТ

Поскольку мы рассматриваем вопрос о возможных влияниях загрязнения атмосферы на климат Земли, то мы ограничимся рассмотрением физических процессов, которые могут оказать влияние на период в десять, сто и несколько тысяч лет. Так, например, возможные климатические изменения, происшедшие

в период горообразования, изменения, которые,бесспорно,связаны с полярным блужданием или изменением суши и распределением моря, не рассматриваются. Не рассматривается также большая часть климатических изменений, вызванных изменением орбиты Земли (Миланкович, 1930 г.).

Изменения солнечной радиации и состава атмосферы

Прежде всего будут рассматриваться те климатические измененения, которые могли бы возникнуть в результате изменения общей солнечной радиации, достигающей земли или вызванной вулканической деятельностью, которая повлияла на характеристики поглощения и рассеяния атмосферы Земли. Измерения общего количества солнечной радиации, достигающей Земли, пытались производить по наблюдениям с поверхности Земли в течение приблизительно ста лет, но это всегда было трудно сделать из-за поглощающих и рассеивающих свойств атмосферы Земли. Изменения, наблюдаемые на поверхности Земли, могут быть, таким образом, результатом изменения мутности атмосферы, а не изменения солнечной постоянной. Последние измерения, проводимые с высотных шаров-зондов и со спутников, показывают, что изменения общей солнечной радиации за последние десять лет составляют, по всей вероятности, меньше 0,5%. Но даже 0,5% - очень большое значение, которое, безусловно, будет иметь существенное влияние на климат Земли. Поэтому мы не можем исключить априори, что последние климатические изменения, хотя бы частично, были вызваны изменениями общей солнечной радиации.

Действие вулканов на Земле меняется. Митчелл (1970 г.) изучил все основные извержения вулканов, начиная с 1855 г. и возможные количества пыли, выброшенной в атмосферу Земли. (рис. 5). Большая часть пыли, выброшенной во время извержения, достигает стратосферы и, как показывают точные данные, в течение года или двух находится в стратосфере. Поэтому такое поступление пыли, исчисляемое десятками миллионов тонн, при крупных извержениях могло оказывать влияние на радиоактивные свойства атмосферы Земли в течение нескольких лет. Изменения вулканической деятельности за последние 10 000 лет также могли повлиять на климат Земли.

Внутреняя динамика системы атмосфера-океан-ледник

Однако изменения климата Земли не обязательно должны были быть вызваны внешними причинами. Физическая система, включающая атмосферу, океан и воду, скрытую в ледниках, может придти в значительные колебания, вызванные только внутренними процессами. Как было указано Лоренцом (1968 г.), существуют некоторые физические системы, статистика которых, проводимая в течение каких-то неопределенных интервалов времени, была уникально определена по основным физическим законам и внешним воздействиям,

в то время как существуют другие системы, для которых это не приемлемо. Существуют также системы, статистика которых, проводимая в течение длительных интервалов времени, значительно различается при переходе от одного интервала к другому. В настоящее время еще слишком мало известно о такой системе, как атмосфера-океан-ледник, чтобы можно было определить, к какому типу систем она относится. Наиболее совершенные динамические модели атмосферы могут создать среднюю структуру атмосферы и соответствующее распределение ветра как функцию широты и высоты в зависимости от интенсивности и распределения поступающей солнечной радиации, характеристик поверхности Земли и вращение Земли. (Манабе и Стриклер, 1964 г.). Время, необходимое для настройки произвольного начального поля по направлению среднеклиматического, определялось очень точно. Эксперименты указывают на то, что необходимое в глобальном масштабе время составляет порядка нескольких месяцев. Несмотря на то, что интересно было бы определить ту среднюю структуру, вертикально и меридианально соответствующую определенным внешним влияниям, понимание климатических изменений, которые произошли в течение последних 10 000 лет, обязательно включает изучение динамического взаимодействия между атмосферной циркуляцией, циркуляцией океана и образованием и исчезновением ледников. Очевидно, океаны и ледники определяют характерную шкалу времени климатических изменений.

В последнее время было проведено большое число исследований, в которых использовались различные модели, для объяснения характера динамического взаимодействия между атмосферой, океаном и массивами льда в полярных районах (Будыко, 1968 г.; Эриксон, 1968 г.; Флетчер, 1968 г.; Веил, 1968 г.; Вортингтон, 1968 г.). В большинстве этих исследований некоторые наблюдаемые физические взаимосвязи являются основой для более или менее стройной теории значения конкретных процессов, объясняющих климатические изменения, которые имели место в прошлом. В связи с чрезвычайной сложностью взаимодействия между атмосферой, океанами и льдом выводы никогда нельзя считать окончательными. С другой стороны, наблюдаемая физическая взаимосвязь должна служить основанием для разработки более совершенных моделей, которые бы определили наиболее важные факторы для климатических изменений в течение периодов в несколько тысяч лет.

С этой точки зрения интересно отметить, что соленость поверхностных вод Атлантического океана значительно выше, чем Тихого. В этой связи Веил отмечает, что распространение арктических паковых льдов в северной части Атлантического океана абсолютно отличается от аналогичного распространения в Тихом океане и делает вывод, что соленость поверхностных вод имеет большое значение для процессов образования льда и глубинных океанских вод.

Вортингтон указывает на другой интересный факт. Во время последнего оледенения небольшой процент воды, обнаруженный в настоящее время мировых океанах, был"скрыт" в ледниках. Следовательно, средняя соленость мировых океанов 10 000 лет назад могла быть на одну тысячную выше, чем в настоящее время. Такая масса воды со средней температурой, равной температуре в глубинах океана в настоящее время, (порядка нескольких градусов), бует несколько плотнее, чем любая масса воды в большинстве океанов. Из этого Вортингтон делает вывод, что поскольку пресная вода, образовавшаяся в результате таяния льда в конце последнего ледникового периода, сделала значительный вклад в поверхностные воды океана, количество глубинной воды мировых океанов, наверное, уменьшилось за счет обмена с поверхностной водой в течение значительного промежутка времени, возможно, в несколько тысяч лет. Трудно установить, было ли это так или как-то иначе, хотя некоторые геологические данные подтверждают эту возможность. В любом случае при исследованиях возможных климатических изменений нужно изучить эту вероятность при помощи более совершенных моделей взаимодействия между атмосферой и океанами. Это справедливо также и для исследования возможных эффектов исчезновения пластов льда, покрывающих Северный Ледовитый океан (Будыко). Приведенные примеры служат лишь иллюстрацией физических процессов и взаимодействий, которые обязательно необходимо учитывать при исследованиях такого рода. Дальнейшего исследования заслуживают и многие другие.

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ЧЕЛОВЕКОМ

Двуокись углерода

Двуокись углерода попадает в атмосферу при сгорании ископаемого топлива, т.е. угля, нефти и газа. Общее количество выхода в атмосферу с начала промышленной революции (середина прошлого столетия) на 20% увеличило бы количество двуокиси углерода в атмосфере, если бы не происходил перенос в основные резервуары двуокиси углерода, такие как океаны и биосфера. (Ревел и Суесс, 1957 г.; Болин и Эриксон, 1959 г.; Болин и Бишоп, 1970 г.). Последние самолетные измерения на уровне тропопаузы или с изолированных островов, например Гавайские острова в Тихом океане, (Болин и Бишоп, 1970 г.; Болин и Килинг, 1963 г.) показали, что действительное увеличение в атомсфере составляет лишь от 35 до 45% общего количества двуокиси углерода, попавшей в атмосферу с середины прошлого столетия. Это означает, что, возможно, около 20% всех мировых океанов участвовали в поглощении двуокиси углерода, образованного в результате деятельности человека вследствие особого буферного эффекта системы карбонат-бикарбонат океанов. Может показаться, что это противоречит наблюдениям, что время оборота мировых океанов составляет порядка 1 000 лет. Это последняя цифра была выведена из измерений C^{14} в глубоких морях и предположения, что существующая

циркуляция вызывается устойчивой океанической циркуляцией. В свете вышеупомянутых дискуссий Вортингтон (1968 г.) это последнее предположение может быть не точным, и вся проблема нуждается в дальнейшем тщательном анализе.

Измерения, о которых сообщали Болин и Бишоп (1970 г.), показывают увеличение двуокиси углерода в атмосфере на 0,7 ч.м. (частей на миллион) в год в течение шести лет 1963-1968 гг. по сравнению с общим выходом в течение этого периода, который соответствует приблизительному увеличению в 2,0 ч.м. в год. Продолжительность этого периода наблюдений, точность и репрезентативность измерений не позволяют сделать вывода относительно того, остается ли это увеличение постоянным в течение данного шестилетнего периода. Непрерывные измерения в течение 1969 и 1970 гг., с другой стороны, указывают на то, что годовое увеличение в течение этих двух лет может быть значительно больше, приблизительно 1,0 ч.м. в год. Этот результат, прежде чем принять его как факт, необходимо подтвердить последующими измерениями в течение нескольких лет, и если он верен, то можно сказать, что впервые наблюдалась нерегулярная ответная реакция одного из естественных резервуаров двуокиси углерода на постоянно увеличивающийся источник. Единственным возможным объяснением в настоящее время может служить нерегулярная ответная реакция океанов, которая, в свою очередь, предполагает нерегулярный обмен масс воды между поверхностными слоями моря и глубинным океаном. Такие наблюдения, естественно, представляют большой интерес для понимания циркуляции океана, а также при рассмотрении роли океанов в климатическом изменении. Непрерывное увеличение потребления ископаемого топлива предполагает увеличенный выход двуокиси углерода в атмосферу, что к 2 000 г. создаст концентрацию в атмосфере около 375-400 ч.м., если 35-45% выхода двуокиси углерода задержится в атмосфере.

Взвешенные вещества

За счет горения каменного угля и нефти происходит высвобождение в атмосферу большого количества взвешенного вещества. Гольдберг (1970 г.) определил, что это количество составляет около 20 миллионов тонн в год. Если средняя продолжительность жизни взвешенного вещества в атмосфере принимается равной одному месяцу, то в настоящее время в результате деятельности человека в атмосфере должно находится около 2 миллионов тонн пыли. Это значительно меньше, чем количество пыли, которое присутствует в атмосфере за счет деятельности вулканов (оценки Митчелла, 1970 г.) (рис. 5) и немного меньше, чем количество пыли в тропосфере за счет естественных процессов, таких, как пылевые бури в засушливых районах. С другой стороны, цифра 20 миллионов тонн в год представляет количество пыли, которая непосредственно попадает в атмосферу исключительно в результате деятельности человека. Косвенно в результате деятельности человека может также происходить выход взвешенного вещества в атмосферу. Существующий уровень знаний об общем количестве взвешенных веществ ограничен и, безусловно, срочно

необходимы исследования как возможных выходов в атмосферу, так и существующих концентраций в атмосфере в любое время. Имеются, однако, данные наблюдений, указывающие на увеличение концентрации пыли в атмосфере в течение этого столетия. Измерения в Вашингтоне, которые проводились с 1905 по 1964 гг. показали увеличение мутности на 27%; в Арозе (Швейцария) наблюдалось изменение на 88% в период с 1920 по 1958 гг. и в течение десятилетнего периода с 1957 по 1967 гг. наблюдалось 30% увеличения на Гавайских островах. Проводились также наблюдения осаждения пыли на отдаленных территориях. Осаждения на леднике особенно очевидны, так как можно получать регистрации в течение длительного периода времени. Давитая (1965 г.) исследовал содержание взвешенного вещества в слое льда ледника на Кавказе и обнаружил значительное увеличение, которое началось с 30-х годов (рис. 6). Наконец, следует подчеркнуть, что двуокись углерода, высвободившаяся в атмосферу, распределяется почти однородно во всей атмосфере,так так средняя продолжительность жизни молекулы двуокиси углерода до перенесения в другой резервуар (океан или биосфера) составляет порядка 5-10 лет, что является продолжительным периодом по сравнению со временем полного перемешивания атмосферы. С другой стороны, пыль остается в атмосфере в течение нескольких недель или месяцев, поэтому она не имеет однородного распределения. Выход в результате деятельности человека, а также за счет засушливых областей, даст в итоге концентрацию пыли, значительно большую в Северном полушарии, чем в Южном.

Водяной пар

В верхней тропосфере и стратосфере водяной пар, высвободившийся в процессе внутреннего сгорания топлива реактивных самолетов, можно считать загрязнителем. При высокой влажности наблюдаются хвосты конденсации или же происходит небольшое увеличение влажности. Наиболее вероятно образование хвоста конденсации от самолета в слое ниже тропопаузы, а в стратосфере, где влажность обычно очень низкая, такое явление наблюдается редко. В областях с интенсивным движением самолетов, как например, над Соединенными Штатами или над Западной Европой, может наблюдаться небольшое увеличение среднего количества перистых облаков. Мачта и Карпентер (1971 г.) показали, что, например, такой эффект наблюдается в течение 20 лет, 1949-1969 гг., над Солт Лейк Сити.

Даже если хвосты конденсации часто не образуются в стратосфере, в атмосферу попадают значительные количества водяного пара. Если СТС войдут в действие, это количество будет в дальнейшем значительно увеличиваться,и процесс будет происходить на уровне приблизительно 25 км. Было определено, что к 1990 г. средняя глобальная концентрация водяного пара в стратосфере будет на 0,2 ч.м. выше, чем в настоящее время, т.е. 1%. Распределение этого водяного пара также неоднородно, и на ограниченных территориях увеличение может быть значительно бо́льшим.

Другие стратосферные загрязнители

Вследствие низкой плотности воздуха стратосфера более чувствительна к загрязнителям, чем тропосфера. Среднее время пребывания соединения в стратосфере до возвращения в тропосферу составляет год или два, что в десять - двенадцать раз больше, чем время оборота в тропосфере. Поэтому стратосферные загрязнители представляют интерес для изучения.

Реактивные самолеты выпускают большие количества окиси углерода и азота. Первая вряд ли влияет на процессы солнечной радиации в атмосфере. Последняя, однако, разлагается под действием ультрафиолетовой радиации, и в цепочке связанных с этим фотохимических процессов также играет роль озон. Существующие фотохимические теории озона стратосферы не дают удовлетворительного объяснения его распределения в слое между 30 и 40 км. Возможно, естественные окиси азота, которые до сих пор не учитывались в этих теориях, могут играть важную роль (Крутзен, 1971 г.). Увеличенное количество загрязнителя в виде окисей азота в стратосфере за счет СТС может сильно повлиять на озон в этих частях стратосферы. Это может оказать прямое воздействие на радиационный баланс в стратосфере, так как озон очень важен в существующем балансе, хотя и неизвестно, до какой степени.

ВОЗМОЖНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

Увеличение содержания двуокиси углерода в атмосфере приводит к повышению температуры. Манабе (1970 г.) более подробно изучил значение двуокиси углерода для радиационного баланса, используя модель атмосферы, которая учитывает радиационные и конвективные процессы. Он пришел к выводу, что изменение атмосферной концентрации двуокиси азота с 300 до 600 ч.м. приведет к увеличению температуры в тропосфере приблизительно на 1,5°С, если абсолютная влажность останется постоянной, в то время как это увеличение будет около 2,5°С, если относительная влажность не изменится (рис. 7). Уменьшение содержания двуокиси углерода наполовину существующей величины наоборот приведет к уменьшению температуры приблизительно на столько же градусов, как указано выше. Из рис. 7 видно, что стратосфера более чувствительна к изменениям концентрации двуокиси углерода, чем тропосфера. Там эти эффекты будут обратными. Увеличение двуокиси углерода приведет к более низкому температурному равновесию и наоборот. Хотя эти результаты и представляют интерес, на их основании нельзя делать окончательных выводов. Важно не только общее изменение, но и распределение по широте, так как этим определяется бароклинность атмосферы, что является важным фактором общей циркуляции атмосферы. Действительно, изменение нагревания атмосферы за счет увеличивающегося и уменьшающегося количества двуокиси углерода может значительно изменить общую циркуляцию атмосферы и нарушить, хотя бы частично, эти изменения, согласно вычислениям атмосферного радиационного баланса.

Возможные последствия изменения концентрации взвешенного вещества в атмосфере, вероятно, должны зависеть от оптических характеристик и спектрального распределения аэрозолей. Так как пока в этом отношении наши знания ограничены, интересно отметить данные наблюдений Кондратьева (1971 г.) относительно роли взвешенного вещества в тепловом балансе. В настоящее время существует общее мнение, что увеличивающееся количество пыли в атмосфере увеличит альбедо Земли за счет рассеивающих свойств аэрозолей, и что непосредственным эффектом этого явится понижение температуры. Однако в то же время увеличенные количества пыли в атмосфере повысят поглощение и общее количество энергии, достигающей земной поверхности, уменьшится. Конвективный перенос тепла с земной поверхности в атмосферу станет меньше.

Наблюдениями подтверждается очевидность того, что увеличение количества пыли в атмосфере приведут к большему поглощению солнечной радиации и повышению температуры. В 1963 г. произошло сильное извержение вулкана Агунг (рис. 5). В последующие годы наблюдались более высокие температуры в нижних и средних слоях стратосферы; максимальные температуры были зарегистрированы несколько месяцев спустя после извержения и составляли около 8°С (рис. 8) (Ньюэл, 1970 г.)

Интересные вычисления, проведенные Манабе (1970 г.), подтвердили сложность обсуждаемой проблемы. Он вычислил температуру равновесия атмосферы при различных предположениях относительно количества низких, средних и высоких облаков. На рис. 9 приведены результаты этого вычисления, где также показана чувствительность температурного режима атмосферы даже к небольшому изменению облачности. Это особенно справедливо для изменения количества облаков низкого уровня, где только 1% увеличения означает понижение температуры равновесия на 1°С. Противоположный эффект имеют высокие облака (цирусы). Однако, здесь результаты находятся в большой зависимости от радиационных свойств облаков. Если предположить, что их можно рассматривать как излучатели черного тела, значительное увеличение цирусов предполагает и значительное увеличение равновесной температуры атмосферы, но если они полупрозрачны, то их влияние не будет ярко выражено. Таким образом, не имеет смысла вычислять изменения распределения температуры в атмосфере, рассматривая только одно соединение, такое как двуокись углерода или количество пыли, так как могут возникнуть другие изменения. При качественной оценке влияния окиси углерода и пыли на тепловой баланс Земли хотелось бы попытаться объяснить эти изменения за последние сто лет как совместный эффект, при котором повышение температуры приблизительно до 1940 г. являлось результатом увеличения концентрации двуокиси углерода, в то время как уменьшение температуры в более позднее время можно объяснить увеличением количества пыли либо в результате вулканических извержений, либо в результате деятельности человека. Этот вывод не

подтверждается. Наблюдаемые изменения климата Земли не превышают тех изменений, которые имели место в результате естественных процессов в течение предыдущих столетий, но частично они могли бы быть вызваны деятельностью человека. Очевидно, настоятельно необходимо дальнейшее изучение реакции атмосферы.

Модели для изучения климатических изменений

Это краткое сообщение о существующем уровне знаний о возможном влиянии человека на климат Земли может показаться довольно беспорядочным.

Точно не известны процессы, которые привели к естественным климатическим изменениям в прошлом, равно как и процессы, посредством которых деятельность человека, вероятно, также оказала влияние на глобальный климат. Качественные исследования причин и эффектов в отношении климата далеки от завершения. Другой тенденцией в области динамической метеорологии в настоящее время является построение сложных моделей атмосферы, которые включают некоторые детали динамических процессов атмосферы Земли. Затем в эти модели одно за другим вводятся сведения об изменении солнечной радиации, составе атмосферы, площади льда, покрывающего сушу, и выводятся возможные последствия этих явлений. Были получены интересные результаты, хотя до сих пор проводилось ограниченное число экспериментов. Однако изменения климата можно довольно тесно связать с изменением океанической циркуляции и изменениями протяженности ледников. Такие изменения происходят в течение многих десятилетий или веков. Но до сих пор ни одна из этих сложных моделей атмосферы не рассматривала период продолжительности более года или двух, поэтому нет окончательных результатов о медленных изменениях. Тем не менее, путем дальнейшего совершенствования этих моделей атмосферы, включая океаны и ледники и, возможно, другие факторы, мы сможем однажды лучше понять это сложное взаимодействие. Поэтому эти модели следует проверять, насколько это возможно, по данным поведения атмосферы. Эта конкретная часть проблемы является основной целью ПИГАП. Еще одной сложностью является то, что время, необходимое ЭВМ для обработки наиболее сложных моделей, в настоящее время слишком велико и не позволяет проводить эксперименты, продолжающиеся в течение десятилетий или столетий, а также иметь достаточно большое разнообразие экспериментов, с тем чтобы сделать заключения. Поэтому недостаточно лишь строить все более сложные модели, а нужно упрощать их путем исключения наиболее известных характеристик динамики атмосферы. Это означает, что необходимо лучше понимать основные характеристики существующих моделей. Задача эта далеко не проста, и, вероятно, потребуются еще десятилетия, чтобы сделать все, что необходимо наравне с расширением деятельности в этой области.

ЛИТЕРАТУРА

Ahlman, H.W., 1953: Glacier variations and climate fluctuations. American Geographical Society, Bowman Memorial lecture.

Bolin, B. and Bischof, W., 1970: Variations of carbon dioxide content of the atmosphere in the northern hemisphere. Tellus, 22, pp. 431-442.

Bolin, B. and Eriksson, E., 1959: Changes in the carbon dioxide content of the atmosphere and sea due to fossil fuel combustion. In "The atmosphere and sea in motion". Ed. Bolin, Rockefeller Institute Press, New York.

Bolin, B. and Keeling, D., 1963: Large scale atmospheric mixing as deduced from seasonal and meridional variations of carbon dioxide. J. Geoph. Res., 68, pp. 3899-3920.

Budyko, M.I., 1968: On the origin of ice-ages, *Meteor. Gidrol.*, No. 11, pp. 3-12.

Crutzen, P., 1971: Ozone production rates in an oxygen-hydrogen-nitrogen oxide atmosphere. To be published J. Geoph. Res.

Dansgaard, W. and Johnsen, S.J., 1969: A flow model and a time scale for the ice core from Camp Century, Greenland, *J. Glaciology*, No. 8, pp. 215-223.

Davitaya, F.F., 1965: Possible influence of atmospheric dustiness on the recession of glaciers and warming of the climate. Akad. Nauk SSSR, Izvestiia, Ser. Geogr. No. 2, pp. 3-22.

Eriksson, E., 1968: Air-ocean-icecap interactions in relation to climatic fluctuations and glaciation cycles. Meteorological Monographs, Vol. 8, No. 30, pp. 68-92.

Fletcher, J.O., 1968: The influence of the Arctic ice pack on climate. Meteorological Monographs, Vol. 8, No. 30, pp. 93-99.

Goldberg, E., 1970: The chemical invasion of the oceans by man. In "Global effects of environmental pollution". Ed. F. Singer, pp. 178-185.

Kondratyev, K., 1971: Interaction between dynamic and radiative processes in the global circulation of the atmosphere. Second IMO Lecture to the WMO Congress.

Landsberg, H., 1970: Man-made climatic changes, Science, 170, No. 3964, pp. 1265-1274.

Lorenz, E.N., 1968: Climatic determinism. In "Causes of climatic change". Meteorological Monographs, Vol. 8, No. 30, pp. 1-3.

Machta, L. and Carpenter, T., 1971: Secular growth of cirrus cloudiness. To be published.

Manabe, S., 1970a: The dependence of atmospheric temperature on the concentration of carbon dioxide. In "Global effects of environmental pollution". Ed. F. Singer, pp. 25-29.

Manabe, S., 1970b: Cloudiness and the radiative convective equilibrium. In "Global effects of environmental pollution". Ed. F. Singer, pp. 156-157.

ЛИТЕРАТУРА (продолж.)

Manabe, S. and Strickler, R.F., 1964: Thermal equilibrium of the atmosphere with a convective adjustment. J. Atm. Sci., 21, pp. 361-385.

Milankovitch, M., 1930: Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen. Handbuch der Klimatologie. Vol. 1, Pt. A. Berlin, Gebr. Bornträger, 176 pp.

Mitchell, J.M., 1970: A preliminary evaluation of atmospheric pollution as a cause of the global temperature fluctuation of the past century. In "Global effects of environmental pollution". Ed. F. Singer, pp. 139-155.

Newell, R.E., 1970: Stratospheric temperature change from the Mt. Agung volcanic eruption of 1963. J. Atm. Sci., 27, pp. 977-978.

Revelle, R. and Suess, H., 1957: Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of an increase of atmospheric CO_2 during past decades. Tellus, No. 9, pp. 18-27.

Weyl, P.K., 1968: The role of the oceans in climatic change: a theory of the ice ages. In "Causes of climatic change". Meteorological Monographs, Vol. 8, No. 30, pp. 37-62.

Wilson C.L. (editor), 1970: Man's impact on the global environment. Assessment and recommendations for action. The MIT Press.

Worthington, L.V., 1968: Genesis and evolution of water masses. Meteorological Monographs, Vol. 8, No. 30, pp. 63-67.

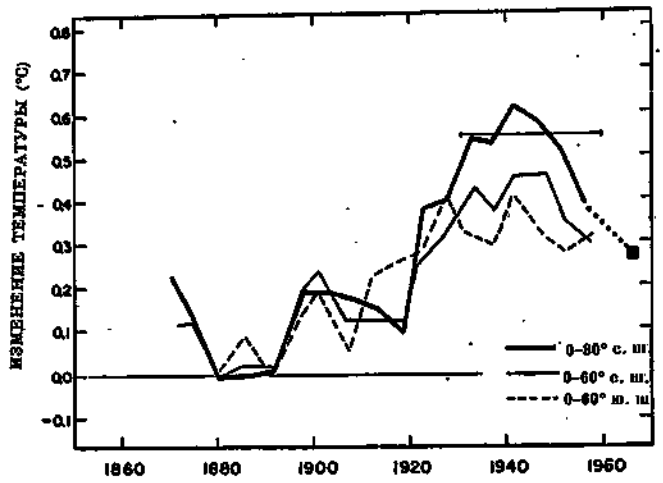


Рис. 1 — Тенденции среднегодовых температур полушария для различных широтных диапазонов, 1870–1960 гг. Сведения с 1960 г. основаны на данных Шерхага для Северного полушария, 1965–1967 гг. Горизонтальная линия на графике обозначает обычный уровень (1931–1960 гг.) температуры в диапазоне (0–80° с. ш.), согласно которой данные, полученные Шерхагом, могут сравниваться с другими данными (Митчелл, 1970 г.).

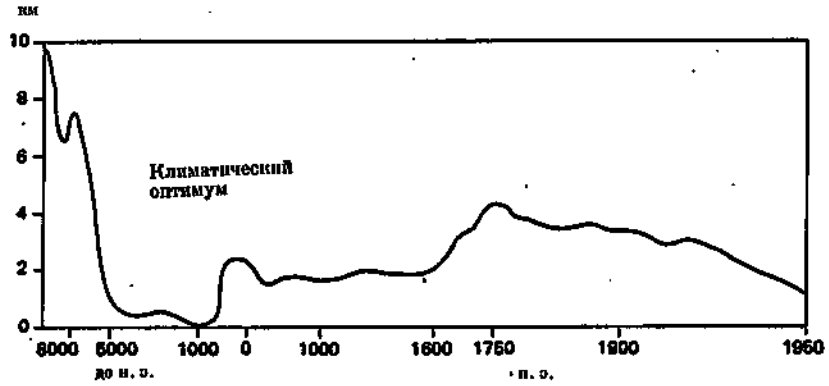


Рис. 2 — Изменения ледников в Норвегии за последние 10 000 лет (из работы Ламанна, 1953 г.).

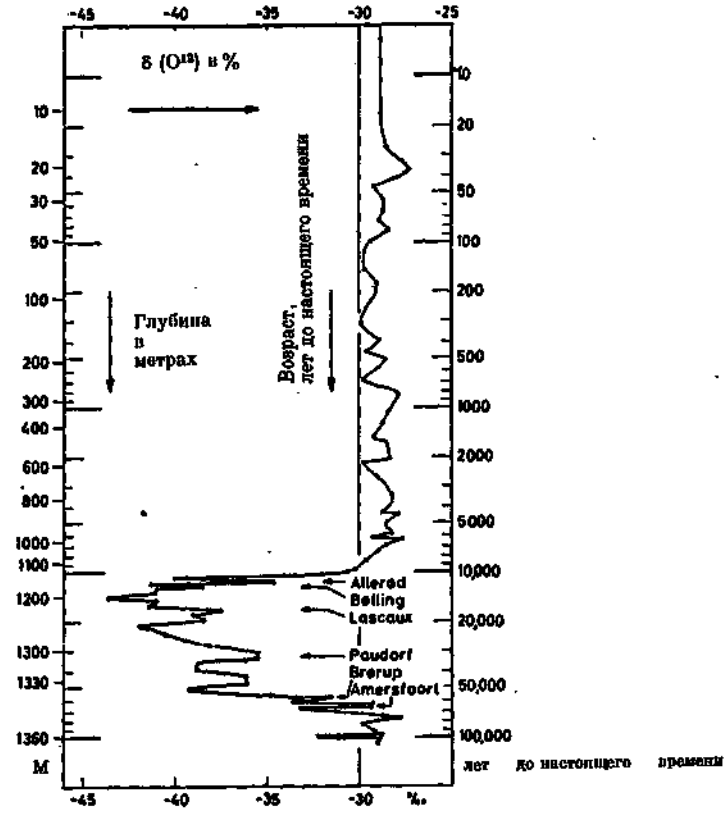


Рис. 3 — Концентрация тяжелого изотопа кислорода δ (O^{18}) на участках сердцевины льда Кэмп Сенчури, определяющая возраст ледников, вынесенная на логарифмическую шкалу. Шкала, размещенная на графике слева, дает соответствующую глубину в слое до 1966 г. Данные относительно изотопов даны в сравнении с отклонением отношения O^{18}/O^{16} от стандартного отношения в воде океана. (Из работы Дансгарда и Джонсена, 1969 г.)

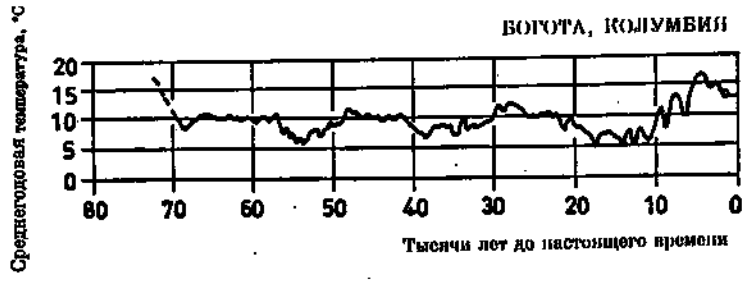


Рис. 4 — Среднегодовая температура в Боготе, Колумбии, за последние 70 000 лет, выведенная из анализа пыльцы и данных измерения содержания C^{14}.

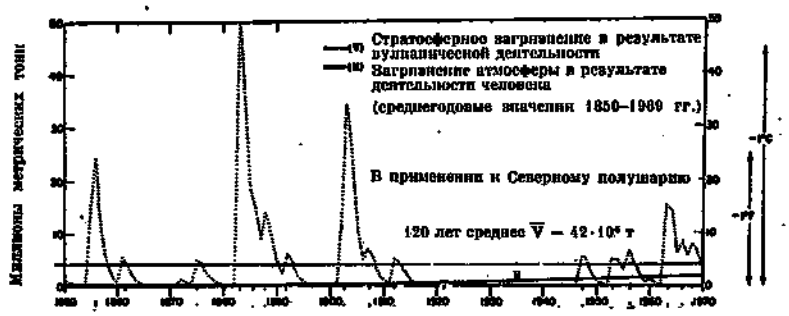


Рис. 5 — Установленная хронология глобального загрязнения атмосферы взвешенными частицами в результате вулканической деятельности (только в стратосфере; на графике кривая, состоящая из точек), а также в результате деятельности человека (толстая сплошная кривая). Для сравнения даны средние количества стратосферной вулканической пыли за 120 лет (тонкая сплошная линия). Определенная калибровка рисунка с точки зрения влияния планетарной температуры показана на внешнем поле справа (Митчелл, 1970 г.)

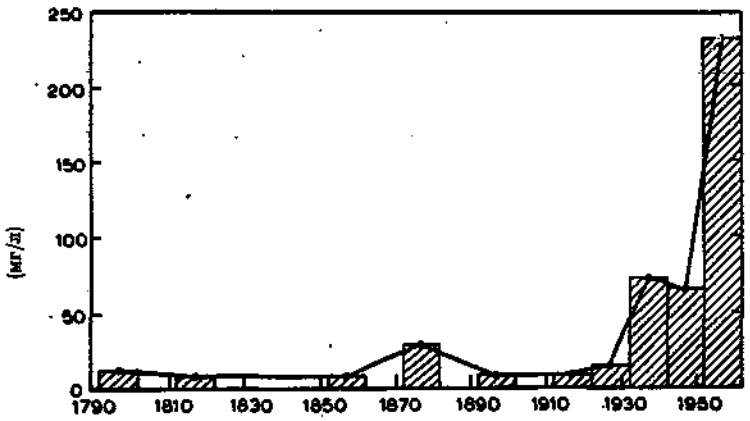


Рис. 6 — Выпадение пыли в высокогорных районах Кавказа. (Давитая, 1965 г.)

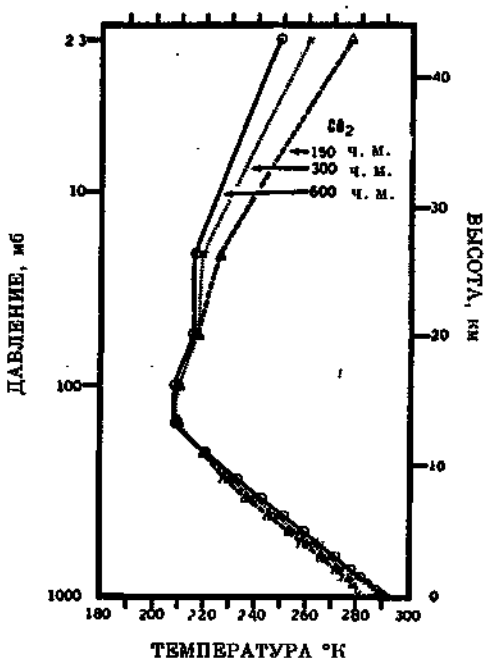


Рис. 7 — Вертикальное распределение температуры при радиационном и конвентивном равновесии для различных значений содержания CO_2 (Манабе, 1970 г.)

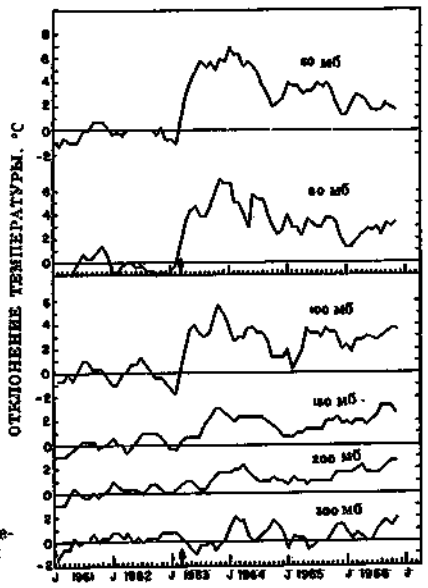


Рис. 8 — Отклонение среднемесячной температуры в Порт Хедланд от среднемесячных данных за 1958–1962 гг. по трем месяцам. (Ньюолл, 1970 г.)

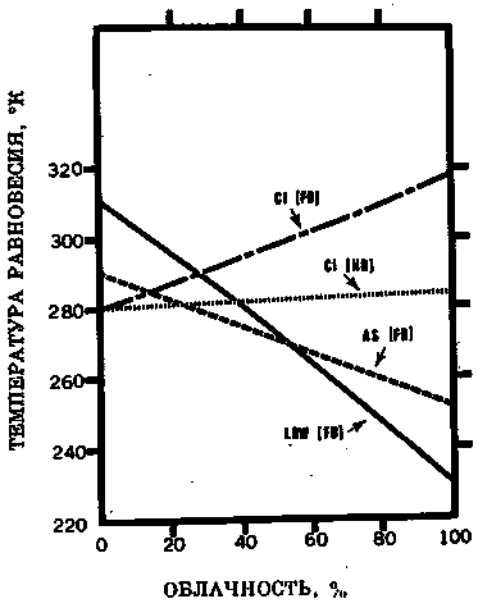


Рис. 9 — Температура радиационного конвективного равновесия на поверхности земли как функция облачности. (Цирусы, высокослоистые облака, низкие облака.) FB и HB — совершенно черные тела и получерные тела для радиации земли соответственно. (Манабе, 1970 г.)

ВЛИЯНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА КЛИМАТ *

М. И. Будыко

Проблема стабильности современного климата имеет очень большое значение при определении влияния деятельности человека на климатические условия. Современные климатические условия представляют собой небольшой отрезок длительной эволюции климата, известной нам по палеоклиматическим изучениям. Эти изучения показывают, что климатические условия на нашей планете за последние несколько миллионов лет сильно отличаются от современных. В какое-то время в отдаленном прошлом не было зон с холодным климатом, и разница температур между экватором и полюсами была относительно небольшой.

Эта ситуация изменилась около миллиона лет тому назад, когда появилось полярное оледенение, иногда доходящее до средних широт и затем снова уходящее в более высокие широты.

Для объяснения причин этих изменений очень важны данные об альбедо системы земля - атмосфера, которые недавно были получены с метеорологических спутников.

Эти данные показывают, что альбедо на участках с ледяным и снежным покровом, в среднем, приблизительно в два раза больше по сравнению с участками без снежного покрова. Таким образом, ледяной покров резко уменьшает поглощение солнечной радиации и в результате уменьшает температуру воздуха в этом районе. Поэтому ледяной покров является не только следствием холодных климатических условий, но и в какой-то степени их причиной.

В этой связи увеличение площади ледяного покрова может сказываться на охлаждении климата, которое, в свою очередь, приведет к увеличению оледенения. Другими словами, современный ледяной покров может быть нестабильным.

Количественную оценку этого влияния лучше всего провести с помощью численных моделей, основанных на теории климата. Фактически эта проблема исследовалась с помощью схематических моделей, основанных на упрощенных изображениях теплообмена в атмосфере.

---

* Лекция, прочитанная на Шестом конгрессе ВМО.

Применение таких моделей показало, что существующий тепловой режим на Земле из-за влияния полярного льда на альбедо очень нестабильный. Незначительные колебания радиации, поступающей на Землю, порядка 1%, могут вызвать значительные изменения средней температуры Земли и привести к изменению полярного льда в пределах больших расстояний.

Применяя упомянутые выше модели и принимая во внимание изменения радиационного режима Земли, вызванные отклонениями ее оси и изменениями в элементах орбиты, удалось вычислить районы ледяного покрова во время различных эпох четвертичного периода. Эти районы оказались близки к тем, которые были построены по данным, полученным при палеогеографическом изучении четвертичного оледенения.

В результате дальнейших применений этих двух моделей были установлены два возможных стабильных типа климатических условий. Первый характеризуется относительно высокими температурами на всех широтах и полным отсутствием оледенения. Такое условие наблюдалось в течение сотен миллионов лет в прошлом. Континенты с относительно низким уровнем позволяли воде океана свободно циркулировать между экватором и полюсами, усиливая тем самым теплообмен между низкими и высокими широтами.

Второе стабильное условие соответствует очень низким температурам на всех широтах и поэтому оледенению всей планеты. Вычисления показали,что снижения притока радиации всего лишь на 1,5 - 2% было достаточно, чтобы произошел такой переход.

Кроме изменения приходящей радиации, переход ко второму стабильному условию мог быть вызван повышением уровня континентов, которое вызвало дополнительное ослабление циркуляции океана.

Помня об этом выводе, можно предположить, что последние миллионы лет представляют собой относительно небольшой (с геологической точки зрения) период перехода от первого стабильного климатического условия ко второму.

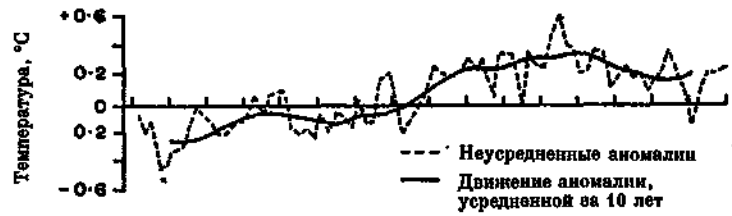
Считая, что современный климат может быть нестабильным, нужно определить последствия, которые могут возникнуть при относительно небольших глобальных климатических изменениях, которые могут возникнуть в ближайшем будущем в результате человеческой деятельности.

Среди этих изменений следующие заслуживают особого внимания:

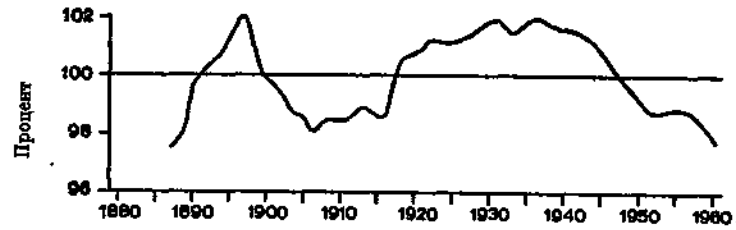
а) уменьшение прозрачности атмосферы, вызванное проникновением пыли;
б) уменьшение прозрачности атмосферы, вызванное повышением концентрации двуокиси углерода; с) повышение температуры воздуха, вызванное расширением энергетической промышленности.

Имеющиеся в настоящее время приблизительные оценки показывают, что любая из этих упомянутых выше причин может в следующем столетии вызвать начало изменения климата, которого будет достаточно для того, чтобы привести к коренным изменениям существующих климатических условий. В частности, проникновение пыли в атмосферу может в определенных условиях способствовать понижению средней температуры воздуха у поверхности Земли, в то время как увеличение концентрации двуокиси углерода и увеличение энергетической промышленности ведут к повышению средней температуры. Есть основания признать, что в течение последних десятилетий влияние увеличения пыли в атмосфере было более ощутимым, чем влияние других факторов и поэтому средняя температура планеты снизилась (см. рисунок). Возможно, что в последующие десятилетия ситуация изменится, и влияние от повышения концентрации двуокиси серы и энергетической промышленности приведет к повышению температуры планеты. Поскольку сравнительно небольшие изменения планетарной температуры могут привести к изменениям на всей планете, то очевидно, что проблема влияния человеческой деятельности на климат заслуживает серьезного внимания.

Необходимо продолжить изучение вопроса о стабильности современного климата, основываясь на применении разработанных моделей климатической теории. Необходимо провести также тщательную исследовательскую работу по влиянию различных аспектов человеческой деятельности на атмосферные процессы.



АНОМАЛИИ РАДИАЦИИ



(из работы Будыко, 1969 г.).

Аномалии температуры воздуха между 17° и 90° с. ш.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ГЛОБАЛЬНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ В ОТНОШЕНИИ КЛИМАТА И КАЧЕСТВА ВОЗДУХА

ОБЗОР

Л. Мачта

ВВЕДЕНИЕ

Климат играет исключительно важную роль в жизни человека. Большие климатические изменения беспокоят общество. Но обычно климат изменяется медленно; будучи менее драматичными, чем повседневные аномалии погоды, эти изменения привлекают к себе меньше внимания.

Даже в историческом прошлом климатические колебания представляли собой обычные явления. В связи с тем,что такие колебания имеют естественное происхождение, их можно ожидать в будущем. Но сегодня человек благодаря замечательным техническим средствам может вызывать климатические изменения большого масштаба, путем искусственного воздействия на состав атмосферы. Изменение состава атмосферы является лишь одним из нескольких путей, посредством которых человеческая деятельность могла бы воздействовать на климат; другие пути воздействия, например, включают преднамеренные попытки воздействовать на погоду, землепользование и на выброс отработанного тепла в атмосферу.

Метеорологи признают по крайней мере два способа изменения состава атмосферы, которые могут влиять на климат. Первый способ - нарушение естественного радиационного баланса, т.е. проникновение энергии солнечной радиации через атмосферу и возврат исходящей от земли радиации в космос. Второй способ заключается в воздействии на дождь и снег при помощи частиц, необходимых для того, чтобы вызывать осадки.

СОДЕРЖАНИЕ ДВУОКИСИ УГЛЕРОДА В ЧИСТОМ ВОЗДУХЕ

Двуокись углерода и водяной пар являются двумя неизбежными продуктами сгорания ископаемого топлива. Полагают, что до современной индустриализации, приблизительно до 1860 г., двуокись углерода составляла около 290 частей на миллион частей воздуха (обычно выражается в частях на миллион). С того времени концентрация двуокиси углерода в атмосфере увеличилась приблизительно на 10% и к 1970 г. составила около 320 ч.м. За этот

период времени человек добавил значительное количество двуокиси углерода, достаточное для того, чтобы увеличить его содержание в воздухе на 20%, а не на 10%.Остальные 10% искусственно созданной двуокиси углерода были сброшены в океан и в биосферу (ту часть планеты, где существует жизнь).

Табл. I показывает производство ископаемого топлива с 1860 г., а также некоторые расчеты на будущее. На протяжении последних 10 лет среднегодовой прирост выброса в атмосферу двуокиси углерода за счет сгорания ископаемого топлива достиг уже 4% в год. Для расчетов на будущее исходят из того, что среднегодовое добавление двуокиси углерода в атмосферу в ближайшем будущем составит 4% в год. Но 4%-ный прирост выброса не может продолжаться бесконечно долго, потому что, во-первых, ресурсы ископаемого топлива ограничены (легко добываемые уголь, нефть и другие виды топлива составляют очень малую часть общих запасов); во-вторых, большинство энергетиков ожидают увеличения доли мировой добычи энергии за счет ядерных источников. Поэтому предполагается, что после 1980 г. количество выбрасываемой в атмосферу двуокиси углерода составит 3,5% в год.

На рисунке отражены три предположения относительно увеличения создания двуокиси углерода в атмосфере к 2 000 г. Существует две причины неуверенности в отношении этого предсказания: во-первых, увеличение количества используемого ископаемого топлива, о котором говорилось выше и, во-вторых, доля двуокиси углерода, остающейся в атмосфере больше, чем доля проникающая в океан и биосферу. В течение прошедших 10 лет, когда в Мауна Лоа, Гавайские острова, США, Поинт Барроу, Аляска, США и в Скандинавии были получены результаты измерений чистого воздуха, доля двуокиси углерода, остающаяся в воздухе колебалась от 35-40% до более чем 60%. Более того, очень мало известно об изменчивости природных источников образования двуокиси углерода, таких как лесные пожары. На основании средней кривой, показанной на рисунке, по наилучшему современному прогнозу содержание двуокиси углерода в атмосфере в 2 000 г. составит около 380 ч.м. Нижняя кривая, выдвинутая на основе экстраполяции данных для Мауна Лоа, почти наверняка занижает действительную концентрацию в 2 000 г., потому что увеличение содержания двуокиси углерода в 1968-1970 гг. происходило в несколько раз быстрее, чем в среднем в 1958-1970 гг.

Еще нет полностью удовлетворяющей модели атмосферного движения и динамики, необходимой для прогнозирования последствий изменения состава атмосферы. Поэтому оценки последствий для климата увеличения содержания двуокиси углерода в атмосфере - очень неточны. Самые лучшие существующие модели показывают, что увеличение содержания двуокиси углерода в атмосфере с 320 до 380 ч.м. может нагреть нижние слои атмосферы приблизительно на 0,5°С (Манабе и Везералд, 1967 г.). Нагревание происходит в результате действия хорошо известного "оранжерейного эффекта", посредством которого солнечная радиация проходит через атмосферу фактически неослабленной вследствие добавления двуокиси углерода, а земная уходящая радиация поглощается и частично отражается обратно в нижние слои атмосферы.

ТАБЛИЦА I

МИРОВАЯ ДОБЫЧА ИСКОПАЕМОГО ТОПЛИВА С 1860 г. [1]

(в 10^6 метрических тонн за десятилетие)

Десятилетие	Уголь	Бурый уголь	Жидкие углеводороды (вкл. нефть)	Природный газ	Общее количество
1860-69	1,660	85	5	–	1,750
1870-79	2,560	180	15	–	2,755
1880-89	3,850	285	55	10	4,200
1890-99	5,405	495	140	40	6,080
1900-09	8,455	880	310	80	9,725
1910-19	11,240	1,270	590	155	13,255
1920-29	11,850	1,875	1,510	285	15,520
1930-39	11,500	2,135	2,335	485	16,455
1940-49	13,570	2,995	3,605	970	21,140
1950-59	14,960	6,465	7,710	2,400	31,535
1960-69	14,060[2]	7,775[2]	10,205[2]	4,055[2]	46,865[3]
1970-79	Увеличение добычи на 4% в год предполагается в период 1970-79 гг.				68,550
1980-89	Увеличение добычи на 3,5% в год предполагается в период 1980-99 гг.				98,670
1990-99					139,190

[1] Мировые запасы энергии. Статистические документы, серии J, Организация Объединенных Наций, Нью-Йорк.

[2] Эти цифры показывают сообщения о добыче только с 1960 по 1967 гг. включительно.

[3] Общее количество за это десятилетие складывается из сообщенных данных за 1960-67 гг. и увеличения добычи на 4% в год за 1968 и 1969 гг.

Есть основание полагать, что предсказанное изменение темперарурy на 0,5°С, может явится значительной недооценкой или переоценкой. Вызывает тревогу вероятность большого потепления вследствие нагревания океана в связи с первоначальным нагреванием атмосферы. Если вода в океанах станет теплее, они будут поглощать меньше и выбрасывать в воздух больше

содержащейся в них двуокиси углерода. Этот процесс может привести к неустойчивому положению, в результате которого может произойти потепление, значительно большее чем 0,5°С. С другой стороны, более высокие температуры могут ускорить процесс испарения океанов, вследствие чего образуется большая облачность. В связи с тем, что облачность играет важную роль в регулировании температуры нижних слоев атмосферы, увеличение испарения может фактически нейтрализовать "оранжерейный эффект" потепления, в связи с добавлением двуокиси углерода.

Коротко говоря, в то время как к 2 000 г. наилучшая современная оценка предусматривает потепление на 0,5°С, еще имеется достаточная неясность как в отношении роста содержания двуокиси углерода, так и ее влияния на климат, ставящая эту оценку под сомнение.

АТМОСФЕРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

К числу первостепенных факторов искусственного воздействия на климат относятся частицы в атмосфере, являющиеся результатом человеческой деятельности. Нет сомнения, что в XX веке общее число взвешенных искусственных частиц увеличилось. Но доказательства обнаружения изменений за пределами городских и пригородных районов не вполне убедительны. Даже в пределах некоторых городов во многих случаях, строгие меры борьбы с загрязнением приостановили или наоборот, изменили тенденцию к повышению.

Одним из лучших доказательств изменения степени запыленности атмосферы являются измерения солнечной радиации. Мелкие частицы рассеивают или поглощают солнечные лучи. Обычные измерения, которые проводятся во время наблюдения за солнцем с помощью небольших приборов типа телескопа, показывают уменьшение солнечного луча при увеличении запыленности или мутности атмосферы. Но для низких высот солнца (при восходе и заходе солнца и в полярных районах) с увеличением мутности атмосферы может увеличиться общее проникновение солнечной радиации на, скажем, плоскую поверхность.

На основании исследований, проведенных в обсерваториях Северной Америки и в Евразии, метеорологи СССР показали, что существует соответствие между большими вулканическими извержениями и последующим уменьшением солнечного луча. Кроме того, примерно с 1945 г., на этих обсерваториях наблюдалось постепенное, равное приблизительно 4%, уменьшение интенсивности получаемой солнечной радиации, которое относится скорее за счет человеческой, чем вулканической деятельности. Это уменьшение солнечной радиации приписывается возросшему количеству мелких частиц в атмосфере.

Подобные измерения солнечного луча были получены также в 1958 г. в Мауна Лао, Гавайские острова, США. Эти наблюдения вероятно отражают скорее глобальное состояние чистой атмосферы. Данные из Мауна Лао ясно показывают наличие пыли в атмосфере во время извержения вулкана на горе Агунг на острове Бали в марте 1963 г. Фактически все станции, наблюдающие за солнечной радиацией, обнаружили пыльное облако от вулканического извержения на горе Агунг. За извержением на острове Бали последовало, по крайней мере, три других извержения значительной интенсивности, так что потребовалось несколько лет, чтобы атмосфера сама очистилась от пыли из этих природных источников. Однако к 1971 г. величина солнечной радиации в Мауна Лоа стала такой же, какой она была до 1963 г. Таким образом, увеличение числа частиц в глобальном масштабе, по данным Мауна Лоа, было не таким интенсивным, как это могло бы быть обнаружено с помощью методов, использующих измерения солнечной радиации.

Очевидная противоречивость между данными о радиации, полученными в Мауна Лоа с одной стороны и в Северной Америке и в Евразии с другой, выдвигает одну из двух возможных причин: первая, что искусственные частицы, возникшие в умеренных или в высоких широтах, разражаются и удаляются прежде, чем достигнут субтропических широт и вторая, что все или большинство станций, кроме Мауна Лоа, имеют расположенные неподалеку источники частиц, которые оказывают местное или региональное, но не глобальное воздействие. Это можно понять с точки зрения быстрого удаления частиц из атмосферы. Частицы легко вымываются из атмосферы дождем и снегом и выпадают после того, как коагулируют до больших размеров. Оказавшись вблизи поверхности, мелкие частицы остаются в воздухе в среднем от 3 до 15 дней, что является коротким периодом по сравнению с переносом воздушных масс в глобальном масштабе. С другой стороны, сильные вулканические извержения могут выбрасывать мелкие частицы в стратосферу, где они остаются годами, в течение которых пыль может в значительной мере рассеяться.

Резюмируя сказанное, очевидность роста концентрации частиц в некоторых городских районах слишком велика, чтобы требовать научного подтверждения. Эффективные меры по борьбе с загрязнением могут изменить тенденцию к росту на противоположную; непродолжительность пребывания искусственной пыли в атмосфере создает преимущества, которых легко достигнуть. Но в глобальном масштабе очевидность тенденций меньше. Более того, как будет показано ниже, естественные источники частиц все еще будут доминировать над искусственными; изменения и тенденции естественных источников могут легко усложнить картину, потребовав специальных усилий для выделения двух видов источников (что не всегда легко сделать).

ТАБЛИЦА П а

ВЫЧИСЛЕННЫЕ ДАННЫЕ ОБ ОБРАЗОВАНИИ ЧАСТИЦ НЕПОСРЕДСТВЕННО ПУТЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ

(в 10^6 метрических тонн в год)

	>5 микрон[2]	<5 микрон[2]
	Образование частиц непосредственным путем	
Морская соль	500	500
Пыль, поднимаемая ветром	250	250
Лесные пожары	30	5
Метеоритные осколки	10	0
Вулканы	?	25[3]
Всего	790+	780+
	Частицы, образующиеся из газов	
Сульфаты	85	335
Углеводороды	0	75
Нитраты	15	60
Всего	100	470

ТАБЛИЦА П в

Вычисленные данные о выбросе частиц, образующихся непосредственно или путем преобразования в результате человеческой деятельности по всем странам[1]

(в 10^6 метрических тонн в год)

	1968 г.		2000 г.
	>5 микрон	< 5 микрон	<5 микрон
	Выброс непосредственно образующихся частиц[4]		
Транспорт	0,4	1,8	
Стационарные источники (сгорание топлива)	33,8	9,6	
Промышленные процессы	44,0	12,4	
Выброс твердых отходов	2,0	0,4	
Прочие	23,4	5,4	
Всего	103,6	29,6	100
	Частицы, образующиеся из газов[4]		
Преобразованные сульфаты	20	200	450
Преобразованные нитраты	5	35	80
Преобразованные углеводороды	0	15	50
Всего	25	250	580

[1] Дж.Т. Питерсон и С.Е. Юнг "Источники твердых примесей в атмосфере", ("Sources of particulate matter in the atmosphere"), изучение важных проблем окружающей среды. Technology, Williamstown, Mass. Workshop of 1970 to be published in 1971.

[2] Частицы с диаметром более 5 микрон обозначены > 5. Частицы с диаметром менее 5 микрон обозначены < 5. 1 микрон равен одной тысячной миллиметра.

[3] Выбросы вулканического происхождения сильно колеблятся из года в год.

[4] Эти выбросы (за 1968 и 2000 гг.) учитывают результаты борьбы с загрязнением воздуха по состоянию на 1968 г.

В табл. П а и П в показаны ежегодные количества частиц естественного и искусственного происхождения, выброшенных в атмосферу в 1968 г., с прогнозом вплоть до 2000 г., когда это было возможным. Во-первых, следует подчеркнуть, что приведенные цифры—это лишь грубая оценка количества частиц, часто основанная на недостоверенной информации. Во-вторых, где это только возможно, проводится различие между количеством мелких частиц с диаметром меньше 5 микрон и более крупных частиц. Причина такого различия носит двойственный характер: во-первых, крупные частицы, выделившиеся вблизи поверхности, выпадают гораздо быстрее, чем мелкие или самые мелкие; во-вторых, самые мелкие частицы имеют почти такие же размеры, как длина волн солнечной радиации, и поэтому они более эффективно препятствуют прямой передаче солнечной радиации на землю, чем крупные, при той же массе частиц.

В табл. Пв уже содержатся меры по борьбе с загрязнением, эффективные на 1968 г. Пока же не предприняты меры по усилению борьбы с загрязнением на будущие годы, количество искусственных частиц может возрасти в 2-5 раз по сравнению с 1968 г. Однако предсказанное количество частиц, которые должны выделяться в 2000 г., будет все же меньше естественного выброса частиц от распыления, вулканов и т.д.

Может вызвать удивление тот факт, что в табл. П а и П в показано, что двуокись серы и окись азота, являющиеся газами, представляют собой источник атмосферных частиц. Источниками обоих этих газов являются хорошо известные виды человеческой деятельности. Было показано, что внутри атмосферы происходят сложные реакции, вызывающие необходимое преобразование. Эти реакции, мы полагаем, проходят также и в нижней стратосфере, чем объясняется вторичный максимум концентрации частиц с увеличением высоты в нижней стратосфере.

В целях предсказания последствий для климата растущего числа частиц в воздухе, нужно знать многие их характеристики (как-то, их размеры, количество, и оптические свойства), их распределение по высоте, а также характер атмосферы и подстилающей поверхности (как-то, альбедо и влажностные свойства). К сожалению, многие из этих характеристик либо неизвестны, либо известны так плохо, что пока невозможно с уверенностью предсказать, потеплеет или похолодает нижняя атмосфера по мере увеличения в ней количества частиц. Например, Будыко (СССР) утверждает, что глобальная тенденция похолодания на поверхности земли с сороковых годов нашего столетия объясняется уменьшением прохождения солнечной радиации, вызванного искусственными частицами, наблюдаемыми над Северной Америкой и Евразией. С другой стороны, Митчел (США) заявляет, что очевидное похолодание за последние десятилетия не может быть приписано вызванному человеческой деятельностью увеличению загрязнения атмосферы частицами в крупном масштабе.

Мелкие частицы в атмосфере могут также действовать в качестве ядрообразующих агентов, вызывающих осадки быстрее, чем это происходит другим путем или рассеивающих их и тем самым препятствующих осадкам. Многие вопросы эффективности искусственных частиц по сравнению с естественными возникают в этой спорной области метеорологии. Некоторые из этих трудностей могут быть преодолены путем изучения статистики осадков с подветренной стороны от основных источников искусственных частиц. К сожалению, несмотря на утверждение об увеличении дождевых или снеговых осадков с подветренной стороны от сталелитейных и шламовых заводов в США, очевидность этого все еще является спорной. Шефер (США) утверждает, что частицы свинца, выброшенные в результате сжигания этилированного топлива, могут стать активными ядрами охлаждения, а совместно с ничтожно малыми количествами йода образовывать иодистый свинец. Проблемы местного и регионального воздействия на осадки могут быть разрешены в ближайшее десятилетие. Глобальное влияние частиц на дождь и снег не предполагается.

ВОДЯНОЙ ПАР

Вода, так необходимая для жизни, обычно не считается загрязнителем. Как правило она не токсична, но представляет собой важную составную часть воздуха. Временами она может быть существенной помехой; в некоторых полярных районах зимой выделение искусственной воды в атмосферу может серьезно ухудшить видимость.

Многие виды человеческой деятельности, включая само дыхание, выделяют водяной пар в атмосферу: горение ископаемого топлива (нефтепродуктов и естественного газа), ирригация (включая увеличение испарения

с водохранилищ) использование воды городами и промышленностью (включая испарение с градирен). Частично компенсируя растущее выделение водяного пара в атмосферу, некоторые виды человеческой деятельности могут сократить его: вырубка леса, сток с горных районов и специальное использование веществ, задерживающих испарение с озер и водоемов.

В табл. III а и III в показаны некоторые естественные и искусственные составляющие атмосферной влаги. Количество источников искусственной влаги может достигнуть верхнего предела; в любом случае приведена лишь грубая оценка. Несмотря на эту неопределенность, очевидно, что для больших районов искусственные источники влаги составляют лишь небольшую часть естественного испарения и суммарного испарения. Однако в местном масштабе искусственные источники могут играть более важную роль, чем естественные. Например, в западной части штата Пенсильвания (США) ряд градирен испаряет около 40 метрических тонн воды в минуту. Местное увеличение (но небольшое) осадков и облачности можно время от времени наблюдать в окрестностях этих градирен, но уже на расстоянии 20 км от них приток влаги обычно становится незначительным благодаря естественным флуктациям водяного пара в окружающей среде.

ТАБЛИЦА III а
ПРИРОДНЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦИКЛ
(в 10^{12} метрических тонн в год)

	США	По всему миру
Атмосферные осадки	6[1]	500[2]
Годовое испарение	4[1]	500[2]
Сток	2	-

[1] Волман, Публ. 1 000-В, Национальная академия наук - Национальный совет по исследованиям, 1962 г.

[2] Будыко, Советская география, 1962 г.

ТАБЛИЦА III в

НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ ИСКУССТВЕННОГО ДОБАВЛЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В АТМОСФЕРУ
(в 10^{12} метрических тонн в год)

	США	По всему миру
Потребляемое количество ископаемого топлива[3]		0,004
За 1965 г.:		
Ирригация[4]	0,09	
Промышленность[4]	0,006	
Коммунальное и сельское хозяйство[4]	0,009	
На 2000 г.:		
Ирригация[4]	0,126	
Промышленность[4]	0,022	
Коммунальное и сельское хозяйство[4]	0,025	
Фреатофиты[5]	0,03	
Один комплекс больших промышленных градирен в западной части штата Пенсильвания, США	0,00006	

[3] Согласно подготовленному в США докладу "Восстановление качества нашей окружающей среды" ("Restoting the quality of our environement") (1965 г.) предполагается, что жидкий углеводород и природный газ соответственно состоят на 14% и 25% из водорода, который таким образом превращается в воду. Приведенная величина относится к 1967 г.

[4] Совет по водным ресурсам, 1968 г. (США). Эти цифры обозначают потребление воды; не все, но большее количество воды, показанное в таблице, высвобождается в атмосферу путем испарения или эвапотранспирации растениями.

[5] Т.В. Робинсон, "Важная роль растительности в пустыне в гидрологическом цикле" ("The importance of desert vegetation in the hidrologic cycle"), Союз геодезии, Генеральная ассамблея (Канада) 2, 1957 г. Предполагается, что эти сорняки являются в значительной мере результатом человеческой деятельности в тех областях США, в которых выпадает мало осадков.

Существуют, однако, некоторые области атмосферы, где даже небольшое увеличение влаги может вызвать значительные последствия. Одной из таких областей является верхняя тропосфера (высота 10 до 14 км), где воздух очень холодный и где совершают полеты реактивные самолеты. Следы конденсации от самолетов видны всем, кто живет вблизи авиалиний. Обычно эти искусственные облака испаряются вскоре после того, как они возникли. Однако иногда они существуют в течение нескольких часов, сливаются и растягиваются в перистые облака. Часто утверждают, однако, что эти искусственные облака все равно бы возникли некоторое время спустя. Но судя по метеорологическим данным по двум западным городам Соединенных Штатов, расположенным вблизи авиалиний, мало очевидно, что введение пассажирских реактивных самолетов в 1958 г. вызвало значительное увеличение высотной облачности.

Облака могут также возникать из стратосферной влаги, хотя это может быть только в ограниченных районах зимней полярной ночи и вблизи экваториальной тропопаузы; что касается остальных областей нижней и средней тропосферы, то они слишком сухи, чтобы в них существовали устойчивые инверсионные следы или облака. Увеличение влаги в стратосфере, как утверждают, может также сократить равновесие в содержании озона. Предположения относительно содержания водяного пара в стратосфере, которое будет результатом полетов сверхзвуковых пассажирских самолетов, предусматривают увеличение средней глобальной влажности в стратосфере менее, чем на 10% по сравнению с ее естественным содержанием. Влияние на климат в результате сокращения содержания озона не считается значительным ввиду большой естественной изменчивости озона. Однако некоторые ученые отметитили возможность серьезных биологических последствий, вызванных увеличением ультрафиолетовой радиации, достигающей земли, в связи с сокращением концентрации озона.

Единственная серия систематических и надежных измерений стратосферного водяного пара была проведена вблизи Вашингтона (США) научно-исследовательской лабораторией ВМС США. Измерения показали рост от 2 до 3 ч.м. (по массе) в период с 1964 по 1970 гг.; с 1970 г. наметилась тенденция к стабилизации. Можно размышлять о причинах роста в 1964-1970 гг., если он реален. Выбросы самолетов, летающих на больших высотах, или космических кораблей, проходящих через стратосферу, даже при грубой оценке неравнозначны наблюдаемому увеличению влажности. Вернее всего, но это не доказано, что объяснение заключается в более значительной передаче тропосферной влаги в стратосферу. Объем естественного испарения и суммарного испарения земли в миллион раз превышает наблюдаемый рост стратосферного водяного пара, поэтому небольшие изменения в естественных процессах могут вызвать увеличение стратосферной влаги.

Несмотря на теоретические обоснования уменьшения содержания озона, сопровождающего увеличение стратосферной влаги, станции в Северной Америке, измерявшие озон в шестидесятых годах, не обнаружили такого уменьшения. Поскольку озон чувствителен к стратосферной циркуляции, вероятно, что влияние циркуляции было более значительным, чем рост влажности.

Водяной пар играет важную роль в тепловом балансе атмосферы и в его присутствии в туманах и дождях. За исключением таких определенных чувствительных зон атмосферы, как верхняя тропосфера и стратосфера, мало вероятно, что водяной пар, вызванный человеческой деятельностью может играть значительную роль за исключением влияния в местном масштабе. Более высокая облачность, вызванная полетами самолетов, может вызвать либо потепление, либо охлаждение нижней атмосферы в зависимости от оптических свойств облаков и температуры окружающего воздуха. Ограниченные экспериментальные результаты, полученные до настоящего времени, предполагают все же похолодание нижней атмосферы. Другое влияние на климат атмосферной влаги заключается в эффекте засева искусственными ледяными кристаллами. Если ледяные кристаллы искусственных облаков спустятся до малых высот, они могут стать ядрами в переохлажденных водяных облаках, и тем самым вызвать облачность и осадки или изменить их распределение.

ДРУГИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

Поразительное разнообразие веществ, помимо тех, которые уже названы, постоянно добавляются в атмосферу. Это окись углерода, окись азота и углеводороды. Обычно, если они рассеиваются в атмосфере полушария или всего земного шара, их конденсация очень мала, поскольку лишь некоторые из них живут в атмосфере долго. Ученые не подчеркивают их влияние на климат; но будущие исследования могут показать, что с ними также нужно считаться.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможности влияния деятельности человека на состав атмосферы не следует переоценивать. Но его воздействие на климат вызывает серьезные размышления. Многие страны имеют программы или составляют их с тем, чтобы документально подтвердить изменения качества атмосферы в будущем. Несмотря на большие усилия нескольких организаций и стран, удовлетворительная теория, объясняющая влияние изменения качества атмосферы на изменения климата, будет создана через много лет в будущем. Пока же правительства будут поставлены перед сложной проблемой, развивать ли новые виды техники, которые принесут пользу обществу, но которые отрицательно скажутся на погоде и климате. Не имея возможности откладывать решение вопроса до получения лучшей информации, главы правительств могут только обратиться ко мнению самого компетентного совета для того, чтобы иметь программу действий.

ЛИТЕРАТУРА

Bolin, B., 1970: The carbon cycle. Scientific American, 223.

Bolin, B. and Bischof, W., 1970: Variations in the carbon dioxide content of the atmosphere of the northern hemisphere. Tellus, 22.

Budyko, M. I., 1970: The effects of solar radiation variations on the climate of the earth. Tellus, 21.

Charlson, R. J. and Pilat, M. J., 1969: Climate: the influence of aerosols. Journal of Applied Meteorology, 8.

Gebhart, R., 1967: On the significance of shortwave CO_2 absorption in investigations concerning the CO_2 theory of climatic change. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, B 15.

Hampson, J.: Photochemical behaviour of the ozone layer. Canadian Armament Research Division Establishment Tech. Note 1627, Val Cartier, Quebec, C.A.R.D.E.

Junge, C. E., 1963: Air Chemistry and Radioactivity. Academic Press, New York.

Lamb, H. H., 1966: The Changing Climate. Methuen Books, London, England.

Landsberg, H. E., 1970: Man-made climatic changes. Science, 170.

Manabe, S. and Wetherald, R. T., 1967: Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity. Journal of Atmospheric Sciences, 24.

Manabe, S. and Bryan, K., 1969: Climatic calculations with a combined ocean-atmosphere model. Journal of Atmospheric Sciences, 26.

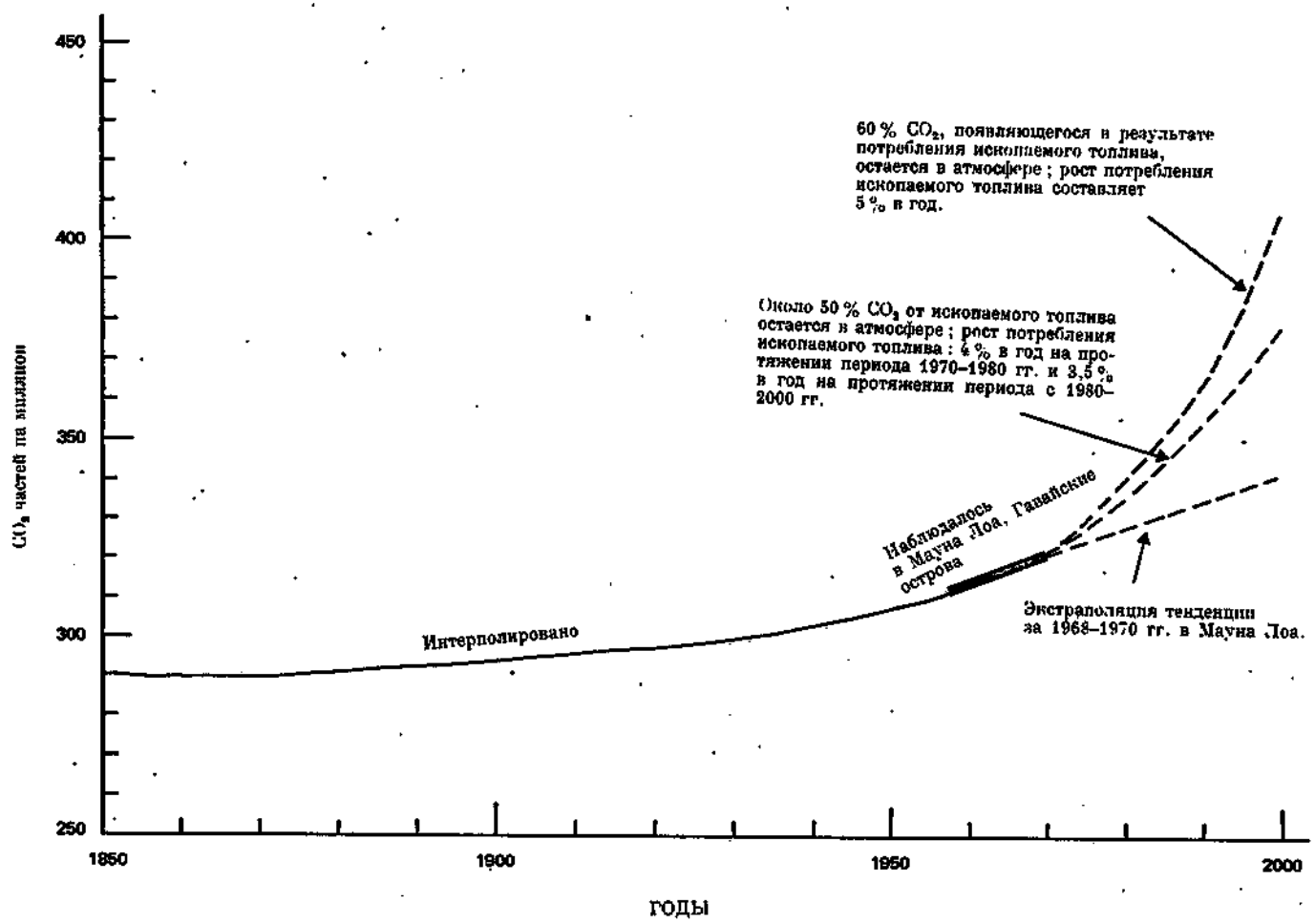
Massachusetts Institute of Technology, 1970: Man's Impact on the Global Environment, Report of the Study of Critical Environmental Problems (SCEP). MIT Press, Cambridge, Massachusetts and London, England.

Mitchell, Jr., J. M., 1970: The effects of atmospheric aerosol on climate with special reference to surface temperature. NOAA Tech. Memo. EDS 18.

Newell, R. P., 1971: Global circulation of atmospheric pollutants. Scientific American, 224.

Peterson, E. K., 1969: Carbon dioxide affects global ecology. Environmental Science and Technology, 3.

Schaefer, V. J., 1966: Ice nuclei from automobile exhaust and iodine vapour. Science, 154.



Увеличение содержания двуокиси углерода в атмосфере

ПЛАНЫ ВМО ПО СЛЕЖЕНИЮ ЗА ФОНОВЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ АТМОСФЕРЫ *

Р. А. Маккормик

Нет необходимости подчеркивать значение воздействия на всю окружающую человека среду результатов "взрыва" народонаселения и технического прогресса, имевших место в прошлом веке. Многочисленные исследования, целью которых является изучение человеческих поселений, использования природных ресурсов и загрязнения окружающей среды – суши, вод и воздуха – позволяют, как мы полагаем, ожидать не только понимания во всем мире масштабов проблем, связанных с этим, но также и установления требуемых политических и социальных соглашений, которые могли бы привести в конечном счете к решению этих проблем. Однако они могут служить лишь руководством, ввиду того, что фундаментальные проблемы как социальной, так и физической наук, во многих случаях еще должны быть сформулированы, не говоря уже о том, что их еще предстоит решать по существу.

Из числа этих проблем наиболее важной и, вероятно, наиболее трудной для разрешения является проблема определения того, каким образом и в какой степени окружающая человека среда на земном шаре подвергается вредному разрушительному воздействию техники и цивилизации. Как только эта проблема будет решена, более ясной станет альтернатива, и общественное мнение не будет колебаться в зависимости от капризов судьбы с одной стороны или соображений неограниченной эксплуатации, с другой.

Ведущие ученые в области атмосферных наук и руководители метеорологических служб мира играют выдающуюся роль в решении этих важных проблем окружающей человека воздушной среды, роль, которая одновременно является возможностью, обязанностью и вызовом. Это – возможность внести вклад в благополучие будущих поколений человечества. Это – обязанность ввиду того, что состав или качество атмосферы в целом и их изменчивость являются метеорологической проблемой. И вызов – потому что открылись новые перспективы с точки зрения концепций программ исследований и наблюдений, которые во многих случаях являются принципиально новыми по сравнению с повседневной исследовательской и оперативной деятельностью метеорологических служб.

Еще до возникновения нынешней волны озабоченности широких общественных кругов по поводу ухудшающегося качества окружающей воздушной

---

* Лекция, подготовленная для Шестого конгресса ВМО.

среды Всемирная Метеорологическая Организация приступила к проведению исследований и создала сети станций в целях достижения более глубокого понимания этих проблем. Благодаря инициативе и проведению рабочей группы ВМО по атмосферному загрязнению и химии атмосферы Комиссии по атмосферным наукам возникла концепция глобальной сети станций ВМО по измерению фонового загрязнения атмосферы, которая была впоследствии одобрена Исполнительным Комитетом. Комитет затем назначил группу экспертов по метеорологическим аспектам загрязнения атмосферы в качестве основного органа по координации всей деятельности ВМО в этой области в виду того, что здесь будут перекрещиваться направления деятельности многих комиссий и необходимо будет обеспечить единство, последовательность и преемственность действий.

Первостепенной целью программы слежения за фоновым загрязнением является удовлетворение потребности в наличии всемирной сети, позволяющей определить региональные и глобальные тенденции, касающиеся составных частей атмосферы, в особенности тех, которые имеют важное значение ввиду их признанного или потенциального влияния на погоду и климат. Здесь следует отметить, что достижение целей этого проекта потребует также уделения внимания продуктам процессов очищения атмосферы (т.е. дождевым осадкам и сухим отложениям), а также прямых и косвенных измерений концентрации "загрязняющих" веществ в атомсфере. Следует полностью признать, что результаты наших открытий далеко выйдут за пределы влияния на погоду и климат; поэтому программа ВМО должна исходить из предложения о наличии потребности в данных, необходимых для исследований и решения проблем, которыми занимаются другие международные организации, связанные с атмосферой, как средой для транспортировки.

Выброс большинства искусственных загрязнителей в атомсферу осуществляется главным образом из "точечных" источников, неподвижных или движущихся. Их воздействие в большинстве случаев немедленно проявляется в местном масштабе или в масштабе городских населенных пунктов, влияя на видимость, интенсивность и качество солнечного сияния, повторяемость туманов и осадков и т.д. Концентрация загрязнителей в городах обычно является наиболее высокой и оказывает наиболее острое и заметное для глаз воздействие на условия жизни человека (здоровье, экономическую деятельность, эстетические восприятия). Результатом этого является то, что данные измерений загрязнения уже предоставляются учреждениям, находящимся под различной юрисдикцией. В целом же, однако, эти местные воздействия становятся по своим масштабам региональными и, вероятно, приобретают и глобальный характер, как на это указывают исследования двуокиси углерода. Программа ВМО нацелена именно на эти две последние проблемы, фактически пока еще не освещенные соответствующей научной документацией. Слишком многое было бы поставлено на карту, если бы пришлось ждать того момента, когда будут устранены все сомнения относительно воздействия тенденций в составе атмосферы, прежде чем ввести программу наблюдений.

Как это рекомендовано специалистами ВМО по планированию, требуются два типа или две категории станций для сети, которая удовлетворяла бы стоящим перед ней задачам:

1. Региональные станции по наблюдению за загрязнением воздуха, основной функцией которых является документальное подтверждение изменений за длительный период состава атмосферы, которые могут быть связаны с изменениями в практике землепользования в региональном масштабе или с другой деятельностью (изменение в использовании топлива), и которые влияют на качество воздуха в региональном масштабе. Размер и характер "региона" не могут быть точно определены, но зависят главным образом от климатологических и топографических факторов. Однако можно предположить,что каждая страна, являющаяся Членом ВМО, пожелает иметь по крайней мере одну такую станцию.

2. Основные станции по наблюдению за загрязнением воздуха, основной функцией которых по слежению является документальное подтверждение за длительный период глобальных изменений состава атмосферы. Предполагается, что лишь весьма небольшое число таких станций, не более 10-13, явится необходимым во всем мире. Их число, а также критерии для их размещения, должны будут в силу необходимости носить весьма ограничивающий характер, а техника взятия проб и анализов будет весьма сложной и дорогостоящей.

Критерии для размещения обоих типов станций уже определены и могут быть кратко сформулированы следующим образом: региональные станции, как предполагается, должны размещаться в сельских районах, не имеющих значительных местных источников загрязнителей, которые должны были бы подвергаться изменениям; вероятно, для этой цели будут пригодны некоторые станции, находящиеся во второстепенных аэропортах, а основные станции по наблюдению за загрязнением воздуха должны размещаться в местах с максимально "чистым воздухом"; горные вершины или отдаленные скалистые острова, по-видимому, имели бы в этом отношении наибольшее преимущество, если они не находятся в точках, расположенных под регулярными авиатрассами.

Многое еще предстоит сделать, прежде чем начнет осуществляться окончательная программа измерений, рекомендованная для сети. На региональных станциях по наблюдению за загрязнением воздуха она, в частности, будет зависеть не только от значения тех или иных загрязнителей, но также и от уровня развития техники взятия проб и анализов по каждому элементу, которая обеспечила бы единообразие и сравнимость данных по всей такой широкой сети. В целом наибольшее внимание будет уделяться загрязнителям, имеющим непродолжительный период существования.

Основные станции по наблюдению за загрязнением воздуха, число которых будет значительно меньше, будут в значительной мере ориентированы на проведение научных исследований и должны иметь меньше проблем в отношении контроля качества и сравнимости данных. Помимо "стандартной" программы измерений, деятельность, осуществляемая на каждой станции, будет,

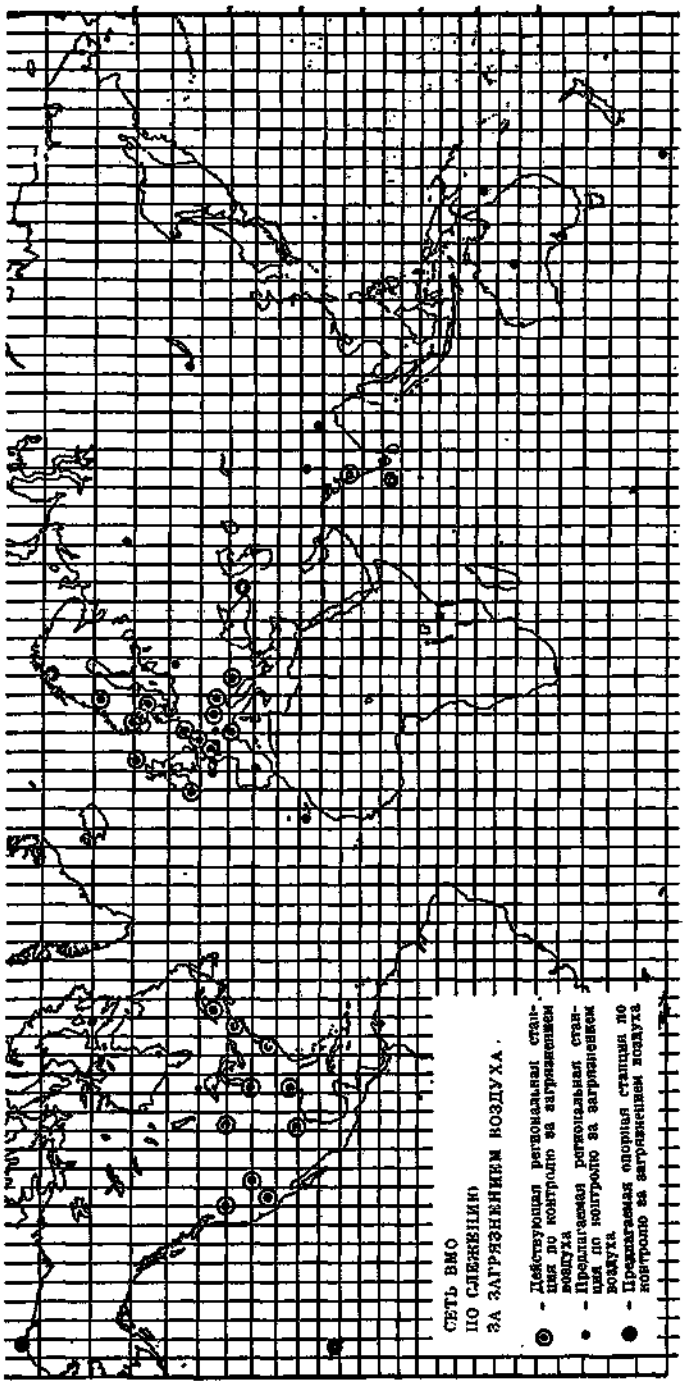
по-видимому, различаться; и даже для осуществления "стандартной" программы могут использоваться различные методы взятия проб и анализа с проведением при этом межлабораторных сравнений, обеспечивающих наличие механизма сравнимости данных.

В целях обеспечения начала работы сети ВМО в возможно более короткие сроки была рекомендована и утверждена начальная минимальная программа измерений и подготовлено оперативное наставление для региональных станций. Первостепенной необходимостью для этой программы является требование о наличии приемлемых стандартизированных методов взятия проб и анализов или о том, чтобы их наличие могло бы быть легко обеспечено; в особенности это касается региональных станций по наблюдению за загрязнением воздуха. Здесь минимальная программа будет состоять из измерений мутности атмосферы и составных частей осадков. На основных станциях по наблюдению за загрязнением воздуха, для того чтобы удовлетворить требования минимальной программы наблюдений, достаточно будет добавить измерение двуокиси углерода. Таким образом, такое начало ставит своей целью обеспечить документальное подтверждение фоновых уровней концентрации частиц и двуокиси углерода, которые наибольшим образом воздействуют на энергетический баланс системы земля-атмосфера.

На рисунке показано приблизительное местоположение станций, включенных в сеть ВМО по определению фонового загрязнения. Некторые из региональных станций уже действуют в настоящее время, а другие, как ожидается, полностью вступят в действие после того, как оперативное наставление ВМО (часть I) будет распространено еще до конца 1971 г. Основные станции, как ожидается, присоединятся к сети после того, как будут разработаны приемлемые методы наблюдений и анализа.

Дальнейшие рекомендации, касающиеся программы измерений, в частности, в отношении измерения концентрации в атмосфере соответствующих загрязнителей, будут разработаны в течение нескольких ближайших месяцев. Они явятся результатом работы экспертов ВМО и рассмотрения рекомендаций других международных учреждений и исследований. Будут также приняты во внимание возможности взятия проб с помощью самолетов и шаров-зондов в стратосфере, а также в верхней тропосфере. Это будет иметь преимущество в двух отношениях: а) проверка тенденций, наблюденных на уровне поверхности, где сезонные колебания могут вносит путаницу в данные, касающиеся колебаний за продолжительный период; и в) выделение стратосферных явлений от тропосферных явлений, таких как тенденция в сульфатном слое Юнге. Было бы как преждевременно, так и маловероятно ожидать каких-либо других более подробных данных в этом отношении в настоящее время. Однако следует продолжать делать упор на создание действенной и глубоко научной основы для долгосрочной программы ВМО, позволяющей удовлетворить потребность в данных наблюдений за окружающей воздушной средой в глобальном масштабе как можно более быстрым

способом. Сложность всей проблемы, начиная с выбора места и кончая анализом отдельных составных частей атмосферы, потребует в некоторых случаях достижения компромисса. Нельзя ожидать, чтобы каждый был удовлетворен в отношении всех аспектов предпринимаемых усилий; вряд ли имеется много стран, если они имеются вообще, где внутри стран достигнуто полное согласие по всем вопросам, касающимся взятия проб и анализа данных атмосферного загрязнения. Но тем не менее превосходный дух сотрудничества, который было легко ощутить и до настоящего времени в рамках ВМО, дает основания надеяться,что в конечном счете будет достигнуто согласие в международном масштабе в отношении этой жизненно важной программы.


СЕТЬ ВМО
ПО СЛЕЖЕНИЮ
ЗА ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ВОЗДУХА
- Действующая региональная станция по контролю за загрязнением воздуха
- Предлагаемая региональная станция по контролю за загрязнением воздуха
- Предлагаемая опорная станция по контролю за загрязнением воздуха

РЕГИОНАЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА

Д. Х. Пак и Р. Дж. Лист

Человек всегда загрязнял окружающую среду дымом от огня для приготовления пищи и обогрева. Еще в начале нашего века единственным источником загрязнения атмосферы были продукты сгорания угля. Беспокойство вызывали лишь отдельные источники или в большинстве своем источники, расположенные в каком-то определенном районе в городах. За последние несколько десятилетий появилось много других вредных источников загрязнения. В частности, с появлением автомобиля источник загрязнения практически распространился по всем городам. За последние годы загрязнение атмосферы вышло за пределы городов, и проблема эта приняла значительно большие размеры. Внимание, которое уделяется "региональному" загрязнению воздуха, является многообещающим. В прошлом последствия загрязнений редко приводили к драматическим бедствиям или к такой очевидной ситуации, что начинался протест общественности. Такая запоздалая реакция не только оплачивается теперь человеческим страданием и имеет непосредственные экономические последствия, но и затрудняет проведение нейтрализирующих мер, делает их более долговременными и дорогостоящими. Раннее признание региональной проблемы позволит провести рациональный анализ, необходимые исследования, а также создать учреждения и методы для принятия необходимых мер, прежде чем в силу крайней необходимости, вызванной окружающими условиями, придется предпринимать опрометчивые или даже необдуманные действия.

За последние несколько десятилетий благодаря развитию техники масштаб человеческой деятельности сильно возрос. Он теперь не измеряется больше несколькими километрами ходьбы в поле, на рынок и на фабрику. Сейчас он покрывает во много раз бо́льшие расстояния. Сырье, топливо и энергию можно легко транспортировать. Информацию по управлению можно легко передавать. Это привело к тому, что деятельность человека вышла за пределы городов и к созданию серьезных источников загрязнения, разбросанных на больших расстояниях один от другого. Например, крупные электростанции, работающие на ископаемом и ядерном топливе, могут находиться в десятках и сотнях километров от потребителя.

В то же время рост населения и возрастающая урбанизация вызывали расширение городов, которые стали сливаться с соседними городами, образуя огромные городские коридоры. Примером такого процесса могут служить коридоры Токио-Осака и Вашингтон-Бостон.

Вопрос загрязнения воздуха все в большей степени начинает приобретать региональный характер, свидетельством чего является увеличение атмосферных аэрозолей, наблюдаемых в негородских районах. Несмотря на то, что меры по контролю за загрязнением позволили сократить число дней с очень низкой видимостью, вызванной дымом и смогом во многих городских районах, в этих же районах было установлено, что число дней с действительно ясным небом, также уменьшилось. Понижение ясности атмосферы является особенно удивительным в сельской местности, для которой раньше была характерна исключительная видимость. Таким образом, одновременно с успешным решением проблемы урбанизации происходило повсеместное распространение взвешенных частиц с низкой концентрацией в атмосфере. Измерения средней концентрации частиц в Соединенных Штатах показывают, что она колеблется от 5 микрограмм на кубический метр при очень чистом небе в отдельных районах до приблизительно 100 микрограмм на кубический метр в центрах городов. В сельской местности, не слишком отдаленной от городов, но и не близлежащей к ним, уровень концентрации составляет около 40 мкг/м^3, т.е. на порядок величины больше по сравнению с отдельными районами и близок к половине среднего значения для городов. Другие изменения загрязнений показывают аналогичные результаты; уровень содержания окиси углерода в сельской местности в 100 раз выше по сравнению с отдельными районами, хотя и значительно меньше, чем на улицах городов. Доказательством является аккумулятивное действие городских загрязнителей на сельскохозяйственные продукты, выращиваемые на значительных расстояниях от городов. Вред растительности наносился за десятки километров от ближайшего возможного источника.

И, наконец, имели место "эпизодические" явления высокого загрязнения воздуха, охватывающие очень большие участки, на которых загрязнение было значительно выше средних значений для городов и сельской местности. Такие ситуации, возникающие под воздействием превалирующих метеорологических условий, снижающих разрежение частиц в атмосфере, приводят к показателям загрязнения, приближающимся к годовым максимумам на площадях в 100 000 км^2 или более.

Загрязнители также взаимодействуют между собой в региональном масштабе. Такое взаимодействие может быть очень разнообразным, начиная с простого аддитивного влияния следующих один за другим выбросов, которые слагаются, когда воздух пересекает зону, и до более сложных химических и фотохимических изменений, когда загрязнители перемешиваются под действием атмосферной диффузии. Например, преобразование двуокиси серы в серную кислоту ускоряется благодаря присутствию металлических катализаторов, таких как магний или железо, и наличию высокой влажности. Таким образом, газ может переноситься на большие расстояния, не претерпевая существенных изменений, однако, попав под действие выброса металлов в атмосферу в области с высокой влажностью, он быстро преобразуется в кислоту. Взаимодействие в региональном масштабе может быть результатом фотохимических

реакций загрязнителей атмосферы. Окислительные предшественники загрязнения, испускаемые до восхода солнца или в условиях облачного покрова, могут переноситься на многие километры, с тем чтобы несколько часов спустя, когда ультрафиолетовая радиация активирует смесь, превратиться в более реактивные и вредные загрязнители.

Газовые загрязнители могут адсорбироваться на взвешенных частицах. Если эти частицы очень малы, они могут вдыхаться и осаждаться на легких, вызывая очень высокую концентрацию загрязнений в теле.

Загрязнители могут оказывать влияние на рациональную погоду и климат, воздействуя на процессы солнечной радиации и осадков. Частицы и аэрозоли ослабляют солнечную радиацию. Например, 30% поступающей солнечной ультрофиолетовой радиации может отражаться или поглощаться толстым слоем, вызванным загрязнителем окислительного типа. Влияние на осадки изучено и документально подтверждено еще плохо, однако, имеется все больше доказательств того, что вызывающие загрязнения ядрообразующие агенты увеличивают осадки в пределах городов; что касается подветренного эффекта, то его еще нужно определить.

Необходимо также рассмотреть и проблемы, связанные с увеличением выхода тепла и водяного пара. Даже сейчас крупные городские районы вызывают искусственную эмиссию тепла от 1/10 до 1/3 того количества, которое образуется за счет непосредственного солнечного нагрева. Действительно, вычисление, проведенное для Нью-Йорка показывает, что зимой город производит тепло, которое в 2,5 раза превышает тепло, получаемое от солнца. Несмотря на то, что большинство влияний, связанных с эмиссией тепла, носят сравнительно локальный характер, увеличение урбанизации до регионального размера предполагает, что изменение погоды на больших площадях вполне реально. Увеличенная влажность атмосферы за счет градирен, испарительных водоемов и нагрева природных вод способствует этим региональным эффектам.

ЦЕЛЬ КАТЕГОРИИ "РЕГИОНАЛЬНОГО" ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Влияния загрязнения воздуха не ограничиваются только "регионами". Некоторые загрязнители, а именно двуокись углерода, обнаруживаются в планетарном масштабе. Зачем же тогда нужно определять регионы и проводить анализ в региональном масштабе? Основная причина заключается в необходимости определить логический масштаб для проведения коррективных действий. Этот масштаб не может быть настолько малым, чтобы нельзя было учесть кумулятивные влияния эмиссий и их взаимодействий на атмосферу и человека. Он не может быть также настолько большие, чтобы принятие коррективных мер затруднялось в силу различных технических, экономических и политических причин.

Наша информационная сеть, необходимая для контроля за загрязнением, должна быть приемлемого размера. То-есть нам необходимы органы разумного размера, которые бы производили измерения эмиссий, качества воздуха, занимались вопросами электросвязи и принимали соответствующие решения. Предотвращение дальнейших нарушений и исправление существующей неблагоприятной ситуации лучше всего достигается за счет правильного землепользования в самом широком его смысле (установление стандартов для эмиссий является частью землепользования). Современные промышленные области соответствуют, более или менее, формам земли (прибрежные равнины, крупные системы долин), имеющимся сетям перевозок и электоросвязи и концентрации природных ресурсов. Например, в Руре, коридоре Вашингтон-Бостон или районе Токио-Осака легче проводить измерения, определять проблемы и осуществлять контроль, чем если бы всю западную и центральную Европу, 48 смежных штатов США или весь японский архипелаг включить в один анализ. Использование приведенных выше районов в качестве иллюстрации не должно означать, что они обязательно должны образовывать "регионы" загрязнения воздуха. Для того, чтобы установить региональные границы, необходимо гораздо больше данных и исследований, а каждый регион может отличаться по своему размеру и характеру. Поэтому целью создания таких "регионов" является определение границ и проблем. Необходимо добавить, что потребуются также стандарты качества воздуха, эмиссий и контроля в национальном и глобальном масштабах. Это создает рамки для региональных систем контроля за качеством воздуха.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Перечень источников загрязнения на региональной основе будет включать не только продукты технического характера, но также материалы естественного происхождения, которые являются либо непосредственными загрязнителями (например,аэроаллергены или бактерии, вызывающие болезни), либо могут взаимодействовать с другими загрязняющими веществами, изменяя их характеристики. Необходимо рассмотреть выбросы, возникающие в результате сельскохозяйственной деятельности. Необходимо отдать должное также тенденции к промышленной децентрализации, когда сильные источники загрязнения перемещаются из уплотненных городских районов в точки, отдаленные на 100 и более километров от центра города.

ПРИРОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Наиболее очевидным естественным загрязнителем является переносимая по ветру пыль, однако, биологические материалы, споры, пыльца и бактерии могут возникать в количествах, достаточных для того, чтобы вызывать загрязнение далеко от источника их образования. Качественная оценка

источников, выведенная по измерению концентрации частиц в воздухе, необходима для пыльцы, спор и плесени, особенно для тех, которые вызывают аллергические реакции или легочные заболевания.

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ

В результате сельскохозяйственной деятельности возникают биологические материалы, которые можно рассматривать как загрязнители, но наиболее очевидными загрязнителями являются органические пестициды и гербициды, широко применяемые в сельском хозяйстве. Обычно они взаимодействуют с природными источниками, поскольку массовое появление заболеваний растений (ржа пшеницы или болезнь зерновых, например) может привести к интенсивному использованию химикалиев для обработки. Сельскохозяйственные химикалии были обнаружены в городских пробах воздуха в низкой концентрации, несмотря на то, что место нахождения источника находилось далеко за пределами города.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ

Этот термин употребляется чаще, чем термин "промышленные", поскольку вся наша современная деятельность сопряжена с образованием загрязнителей. Использование продукта может привести к загрязнению путем испарения (например, краски и растворители) или абразии (например, разрыв прокладки и шины). Загрязнению атмосферы способствуют также сталелитейная, химическая, строительная, бумажная и целлюлозная и др. промышленности.

Наиболее интенсивные и важные выбросы возникают во время процессов непосредственного преобразования энергии, когда для обеспечения передвижения транспорта, получения электроэнергии и нагрева пространства сжигается топливо. Но не только эти процессы вызывают образование огромного количества загрязнителей; они, что особенно характерно для автомобилей, все в большем масштабе выбрасываются на больших расстояних, а не только в центре города.

Материалы, выброшенные в атмосферу в результате этих видов деятельности, включают почти все синтезируемые человеком химические вещества или получаемые непосредственно из природных ресурсов, а также силикаты и глины почв. Полный перечень их невозможен. Сюда относятся большие и малые частицы, аэрозоли, газы, соединения серы, азота и углерода, галогены и радиоактивные вещества.

Эмиссии подвержены огромные пространства. В качестве примера рассмотрим несколько случаев. Выброс окиси углерода от автомобилей в таких

больших городах, как Лос-Анджелес,может доходить до 10 000 т/день. Крупнейшая электростанция, работающая на ископаемом топливе, может ежедневно выбрасывать до 1000 т двуокиси серы, в то время как один автомобиль, делающий в день до 40 км, выбрасывает порядка 100 г углеводорода. В целом промышленный район должен справиться минимум с 1000 т загрязнителей воздуха, приходящихся на одного человека в год.

ВЛИЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Влияния загрязнения, как и разнообразие испускаемых материалов, слишком огромны, чтобы их можно было полностью перечислить. Однако, их можно разделить на 5 классов. Во-первых, это повреждение материалов. Сюда относится ускоренная коррозия камня и металлов, разрушение красок и других защитных покрытий и непосредственное загрязнение строений, домов и одежды. Во-вторых, это повреждение растительности, вызванное непосредственным контактом с воздушными загрязнителями или осаждением и последующим поглощением растением вредных химикалиев. Это повреждение может носить различный характер, начиная с едва заметных отметок, снижающих стоимость и сокращающих урожайность, и кончая разрушением самого растения.Третий класс - это влияние на человека и животных. Его сфера простирается от высокой смертности в период так называемых "эпизодических" загрязнений,и до увеличения заболеваний дыхательных путей. Что касается животных,то одним из наиболее сильных эффектов является отравление фтористыми соединениями,попадающими в организм, когда животные пасутся на загрязненных пастбищах.

Оставшиеся два влияния носят более косвенный характер. Один из них- психологический и связан с неопределенным недомоганием, которое испытывает человек, когда он больше не находит гармонии с природой и считает, что он является причиной такого разногласия.И последним является влияние, еще не определенное количественно, изменения окружающей среды. Указанные эффекты, ослабление солнечной радиации, увеличение выделения тепла, локальные изменения количества и характера осадков, еще не привели к драматическим, широкораспространенным климатическим изменениям. Они являются своевременным сигналом о необходимости рассмотреть вопрос о небрежном искусственном воздействии на погоду, как на одну из причин загрязнения атмосферы.

ОЦЕНКА РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ

В предыдущих разделах кратко была описана необходимость рассмотреть загрязнение воздуха на региональной основе, различные, исчисляемые сотнями, типы загрязнителей химического и биологических видов и множество источников, исчисляемое тысячами или миллионами. Вопрос заключается в том, как можно оценить эти многочисленные факторы и определить надлежащие меры на будущее.

Основным инструментом будет модель регионального загрязнения атмосферы, которая будет определять зависимость между многими источниками выброса и относительно незначительными измерениями концентрации загрязнения воздуха и которая сможет предсказать последствия, вызываемые новыми загрязнителями и влияние различных действий по контролю за загрязнением атмосферы на последующую концентрацию. Окончательная модель будет состоять из многих подмоделей: подмоделей эмиссии, метеорологического переноса и разрежения, удаления загрязнений из атмосферы, единичного и комбинированного влияний загрязнителей, а также роли экономического и социального развития. Все они необходимы для оценки прямых и косвенных последствий действия и бездействия.

Такая модель в силу огромного количества данных, которые она должна обрабатывать, а также в силу взаимодействующего и нелинейного характера проблем, должна представлять собой ряд математических положений или алгоритмов, которые описывают реальный мир с максимально возможной точностью. Вероятно, что вся модель потребует применения современной быстродействующей ЭВМ если не для решения, то для оценки многих альтернативных методов, способствующих достижению желаемого качества окружающей среды. Однако для некоторых областей и участков наиболее практичными могут оказаться значительно менее сложные решения.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ

Нельзя сказать, что при разработке этих моделей и подмоделей мы ничем не руководствуемся. Были построены математические описания графиков движения транспорта, экономические модели и модели распространения болезней. К наиболее сложным существующим уже моделям относятся те, которые применяются при попытках предсказать движение атмосферы и характер погоды для всего земного шара. В области загрязнения атмосферы уже в течение многих лет применяются математические представления распространения загрязнения от отдельных источников на расстояния в сотни километров. За последние годы эти попытки были расширены и привели к появлению модели загрязнения атмосферы от многочисленных источников. Были разработаны модели для применения в таких крупных городах, как Осака, Япония; Бремен, ФРГ; Анкара, Турция; а также Лос-Анджелес, Сент Луис, Чикаго, Нью-Йорк и др., в Соединенных Штатах.

Для всех моделей характерны три общих фактора:

1. Перечень источников выбросов в пространстве и времени;
2. Метеорологические измерения;
3. Математический алгоритм для описания преобразования уровней выброса в концентрацию в пункте приема.

Для всех моделей была общей необходимость измерения качества воздуха (т.е. концентрации загрязенения),по которому можно было определить, дает ли модель адекватное отображение реальной ситуации.

Все модели представляют данные изменения концентрации загрязнения во времени или в пространстве и времени для более новых городских моделей. Между предсказаниями модели и действительными измерениями существовало тесное взаимодействие, обратная связь. Из-за недостатка данных и недостаточного физического понимания часто возникала необходимость исправить или откалибровать модель, чтобы добиться лучшей согласованности с проводимыми наблюдениями.

По мере того, как масштаб проблемы выходит за рамки города, у нас становится все меньше опыта, которым можно было бы руководствоваться. Было сделано всего несколько попыток оценить концентрацию загрязнения от многочисленных источников при удалении и разрежении на расстоянии от 200 до 500 км. Для всех этих экспериментов был характерен один или несколько недостатков: все источники не включались в модель; изучались только особые метеорологические ситуации; процессы атмосферного разрежения или удаления упрощались; для проведения оценки было недостаточно информации.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

Невозможно установить жесткого критерия для определения области загрязнения воздуха. Каждый случай уникален. Область должна быть достаточно большой, чтобы меры по контролю могли быть эффективными,и достаточно малой, чтобы обеспечить управление ею и чтобы она объединялась общностью проблем и заинтересованностью. К факторам, влияющим на такое определение, относится распределение источников загрязнения, распределение населения (они могут быть аналогичными, но не обязательно идентичными), географические и топографические характеристики, метеорология и, если не в теории, то на практике, политические границы.

Область загрязнения атмосферы должна представлять собой участок, на котором количество источников, их размещение и масштабы выбросов от источников создают значительный кумулятивный эффект или взаимодействуют между собой. Она должна включать большое число населения, подвергающегося влиянию этих источников. Следует обратить внимание на топографические характеристики и распределение природных ресурсов, ограничивающее область,а также на характеризующие ее метеорологические параметры. Вполне реальные проблемы, связанные с пересечением политических границ, не будут здесь рассматриваться.

Возможно, несколько примеров продемонстрируют масштабы и ограничения, которые служат для определения области загрязнения атмосферы, о которых идет речь в данном контексте. Вышеупомянутые коридоры Токио-Осака и Вашингтон-Бостон представляют собой длинные и относительно узкие районы, ограниченные горами с одной стороны и береговой линией с другой. Они высоко развиты в промышленном отношении и имеют большую плотность населения. Транспорт, коммуникации, ресурсы и топография совместно образуют область, в которой применяемые средства по контролю за загрязнением для обеспечения максимальной эффективности должны учитывать большие, если не все участки области.

Бассейн Лос-Анджелоса является примером меньшей области, но с более определенными границами, выраженными окружающими горами, Тихим океаном и вызванной этим климатологией, которая препятствует вентиляции бассейна и приводит к накоплению загрязнителей. Даже в такой четко выраженной топографической области за пределами природных границ бассейна строятся новые аэропорты, поселки и промышленные предприятия, которые однажды придется учесть при моделировании загрязнения воздуха в южной Калифорнии. Другими примерами областей, ограниченных природными берьерами, являются долина - Колумбия Уилметт в Орегоне и долина Сан Иоахим в Калифорнии.

Другие области могут быть более разнородными по своей топографии или метеорологическим условиям. Примером может служить область, прилегающая к южной части озера Мичиган. В то время как ветровой режим в большом масштабе в пределах области важен для определения метеорологической вентиляции, совершенно другие поверхностные характеристики прилегающего озера будут оказывать локальное влияние на вертикальные градиенты температуры в пределах области, а следовательно, и на скорость дисперсии загрязнителей. Для определения области могут служить и другие сочетания географических и метеорологических влияний, например, режим бризов, дующих с моря на сушу, для которых характерен суточный цикл, может служить основным средством контроля за переносом загрязителей.

При отсутствии четко выраженных границ, которое объясняется топографией или распределением источников, для определения области нужны другие разумные объяснения. Руководством могут служить метеорологические условия. Устойчивые метеорологические условия, в особенности сильные антициклоны, образуют центры застоя или минимальной вентиляции, которые могут способствовать определению границ. Средневетровой перенос в день может определить пространственный масштаб фотохимических реакций. Характер и частота осадков могут ограничить рассматриваемую область из-за имеющихся механизмов извлечения загрязнителей.

Рассмотрение топографии, метеорологии и существующих основных конгломератов города дает некоторое представление о размерах области. Возможно, что протяженность области будет меньше 100 км. Такой минимальный размер соизмерим с расстоянием, которое проходит загрязнитель в дневное или ночное время при средней скорости ветра. Максимальный размер - это скорее всего 300-500 км, представляющий распространение загрязнения за два фотохимических цикла, а также характерный для многих топографических областей, которые в настоящее время являются городскими или вспомогательными для города районами. Очевидно, в этом общем положении будут исключения, особенно, в случае прибрежных участков, где область должна быть относительно узкой, но значительно более длинной.

Вертикальные размеры моделей значительно легче аппроксимировать. Это максимальная глубина, выше которой выбросы загрязнителей в области перемешиваются по мере того, как они пересекают область. Вычисления, проведенные на основании метеорологических наблюдений и проверенные измерениями качества воздуха, показывают, что эту глубину легко определить. Поскольку она меняется в зависимости от дня и времени года, то модель, которая определяет распределение загрязнения между поверхностью земли и высотой в 3 км может успешно применяться почти для всех случаев.

ТРЕБОВАНИЯ К РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

Прежде чем перечислять требования, предъявляемые к модели, необходимо определить, для чего модель должна применяться. В настоящее время выяснилось, что с помощью региональных моделей можно вычислить поле концентрации всех существенных загрязнителей в пределах пространственной сетки, примерно 2 х 5 км. Что касается временных единиц, то здесь задача более сложная. Возможно, возникнет необходимость определить среднюю концентрацию на каждый час по пространственной сетке. Это позволит контролировать общую тенденцию и получать информацию в аварийной ситуации, вызванной случайным выбросом крайне токсических веществ. Кроме того, стратегия контроля за загрязнением, экономические анализы, а также оценка здоровья вызывают необходимость в осреднении значения концентрации за день, месяц, год и несколько лет.

Модель, при поступлении на ее вход соответствующих исходных данных, должна уметь предсказывать уровни будущих загрязнений. В небольшом масштабе времени, порядка одного часа, это подразумевает определение метеорологических и эмиссионных параметров с заблаговременностью от 12 часов до 2 дней и, используя эти величины, определение поля концентрации. Такие прогностические метеорологические методы предъявляют слишком суровые требования к профессии метеоролога. С другой стороны, оценки будущих загрязнений, скажем, на десятилетие, изменяют требования. Здесь метеорологические параметры можно уже описать с помощью среднеклиматологических данных,

однако потребуются методы, которые позволят предсказать размещения новых источников, эмиссию старых и новых источников и существование новых загрязнителей, которые не учитываются в настоящее время.

Если наша модель должна будет выполнить эти задачи, тогда возникнет необходимость в разработке более совершенных методов и получении большей информации по источникам загрязнений. Современные данные часто не могут обеспечить точного временного описания выборов. Например, общий выброс двуокиси серы в пределах области часто определяется только по годовому расходу топлива и среднему значению содержания в нем серы. Поскольку расход топлива меняется в зависимости от времени года, суточной температуры и потребности в энергии, определить точные значения для любого одиночного источника (или группы источников) на определенный день и час совершенно невозможно.

Возникнет также необходимость в более точной оценке влияния загрязнений, в частности, на человека, а также на животных и растения, в зависимости от изменения концентрации в течение периода меньше одного дня, а также за недели, месяцы и годы.

В равной степени необходима также метеорологическая часть модели. Поскольку направление переноса загрязнения должно определяться в трех измерениях и в течение коротких интервалов времени, то возникает необходимость в более усовершенствованной системе наблюдений. Наблюдения за вертикальными профилями ветра и температуры, которые сейчас постоянно ведутся национальными метеорологическими службами, производятся в точках, отдаленных на расстоянии 300 км одна от другой. Таким образом, наша область загрязнения воздуха средних размеров будет соответствовать участку, расположенному между точками наблюдений.

Требования, предъявляемые к усовершенствованной системе наблюдений, выходят за пределы простого увеличения их числа. Потребуется значительно более высокая точность и более подробное изучение. Например, в настоящее время направления ветра передаются с округлением до ближайших десяти градусов. При применении обычных уравнений диффузии к разрежению загрязнителей от одного источника на расстоянии 100 км, ошибка в направлении ветра в 10° может привести к крупным ошибкам.

Необходимы более полные знания физических процессов, ускоряющих или тормозящих атмосферное разбавление. Наших современных знаний относительно того, как подстилающая поверхность влияет на структуру ветра и вертикальный профиль температуры, а, следовательно, на разбавление, недостаточно. Это особенно верно для воздушного потока перемещающегося в направлении сельская местность-город-сельская местность - ситуации характерной для большинства областей. Необходимы дополнительные данные

о скорости фотохимических и химических реакций, происходящих в атомсфере, где смеси загрязнений и уровни влажности меняются. Наконец, необходима лучшая количественная информация о механизмах и скорости удаления загрязнений из атмосферы, как в результате выпадений и динамических воздействий, так и в результате вымывания осадками.

Чтобы не осталось такого впечатления, что эта проблема совершенно новая и неизвестная, мы повторяем, что продолжаем совершенствовать и расширять успешный опыт, полученный в меньшем масштабе. В настоящее время получают более подробные данные об эмиссиях, приводятся в действие городские сети по контролю за качеством воздуха и метеорологических параметров. Городские модели успешно предсказали распределение концентраций в городах для определенного времени года или для всего года. С помощью более полных моделей удалось добиться некоторого успеха при вычислении полей концентрации для более коротких периодов времени (1-2 часа), особенно когда моделировались процессы умеренного удаления и/или преобразования.

Таким образом, у нас есть хорошее начало и база для определения необходимости в региональных моделях и требуются научные усилия для их создания.

В заключении можно сказать словами Чамберса: "До сих пор воздушные ресурсы представлялись бесконечно большими по сравнению с ежедневным их отбором и расходом, загрязнение воздуха вызывало беспокойство и заболевания только в районах, непосредственно прилегающих к отдельным источникам. Поскольку население в региональном и глобальном масштабах растет, должно наступить такое время, когда присутствие человека в среде поставит под угрозу качество всех воздушных ресурсов....".

ЛИТЕРАТУРА

Atmospheric turbidity over the United States, 1961-1966. Journal of Applied Meteorology, Vol. 8, pp. 955-962.

Holzworth, G. C., 1970: Meteorological potential for urban air pollution in the contiguous United States. Proceedings of the 2nd International Clean Air Congress. (In press.)

Korshover, J., 1967: Climatology of Stagnating Anticyclones East of the Rocky Mountains 1936-1965. U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service National Center for Air Pollution Control, Publication No. 999-AP-34.

Landsberg, H. E., 1970: Man-made climatic changes. Science, Vol. 170, No. 3964, pp. 1265-1274.

Ludwig, J. H., Morgan G. B. and McMullen, T. B., 1970: Trends in urban air quality. EOS, Vol. 51, No. 5, pp. 468-475.

McCormick, R. A., 1969: Meteorology and urban air pollution. World Meteorological Organization Bulletin, Vol. XVIII, No. 3, July 1969, pp. 155-164.

Morgan, George B., Ozolins, G. and Tabor, E. C., 1970: Air pollution surveillance systems. Science, Vol. 170, No. 3955, pp. 289-296.

Moses, H., 1969: Mathematical Urban Air Pollution Models. Argonne National Laboratory, ANL/ES-RPY-001.

Pack, D. H. and Hosler, C. R., 1958: A meteorological study of potential atmospheric contamination from multiple nuclear sites. Proceedings of 2nd United Nations Conference of the Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 18, pp. 265-271. Pergamon Press, London.

Pack, D. H., 1964: Meteorology of air pollution. Science, Vol. 146, No. 3648, pp. 1119-1128.

Pasquill, F., 1962: Atmospheric Diffusion, 297 pp. Van Nostrand Ltd., London.

Peterson, J. T., 1969: The Climate of Cities: A survey of Recent Literature. U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, National Air Pollution Control Administration, No. AP-59.

Slade, D. H., 1967: Modeling air pollution in the Washington, D.C., to Boston Megalopolis. Science, Vol. 157, pp. 1304-1307.

Slade, D. H. (Ed.), 1968: Meteorology and Atomic Energy. TID 24190, Clearinghouse for Federal Scientific and Technical Information, U.S. Department of Commerce, Springfield, Virginia 22151, U.S.A.

Stern, A. C. (Ed.), 1968: Air Pollution, Vols. I, II, III. Academic Press, New York-London.

Stern, A. C. (Ed.), 1971: Symposium on Multiple Source Diffusion Models. U.S. Department of Health Education and Welfare, Public Health Service, National Air Pollution Control Administration, Publication No. AP. (In press.)

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА АТМОСФЕРОЙ В РАЙОНАХ БОЛЬШИХ ГОРОДОВ

Г. Б. Морган

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдение (слежение) за загрязнением атмосферы включает систематический сбор и оценку данных и информации об источниках и выбросе загрязнителей атмосферы, концентрации в атмосфере загрязнителей воздуха и метеорологических параметрах. Некоторые программы наблюдений строятся на национальной основе, другие охватывают районы или области, тогда как третьи затрагивают только отдельные города. Цель каждой программы наблюдения и характер ее осуществления отражают конкретные проблемы и нужды. В этом докладе рассматриваются вопросы наблюдения за составом воздуха в районах городских населенных пунктов и в районах больших городов, причем представлены цели наблюдения, характер и происхождение городских загрязнителей, соображения, касающиеся загрязнения, учитываемые при проектировании сети слежения, краткий обзор имеющихся приборов и методов лабораторных работ и работ по получению и анализу данных.

ЦЕЛИ НАБЛЮДЕНИЯ

Наблюдение за качеством воздуха должно проводиться в каждом большом районе городского типа с тем, чтобы обеспечить наличие данных для следующих целей:

(а) оценки соответствия и/или прогресса в направлении достижения требуемого уровня качества окружающего воздуха;
(в) ввода в действие чрезвычайных процедур по борьбе с загрязнением в целях предотвращения случаев загрязнения воздуха;
(с) наблюдения за тенденциями загрязнения во всем регионе, включая негородские районы (информация, касающаяся негородских районов необходима для оценки того, значительно ли ухудшается качество воздуха в менее загрязненных районах и для получения данных, касающихся фонового уровня загрязнения);
(d) обеспечения наличия данных в качестве основы для применения в оценке влияния; в планировании землепользования и транспорта в городах;в разработке и оценке стратегии деятельности по уменьшению загрязненности;и разработке и утверждении моделей диффузии.

ХАРАКТЕР И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

Загрязнители атмосферы могут иметь форму газов, твердых частиц или жидких аэрозолей. Эти формы могут существовать как отдельно, так и в комбинациях; например, газы могут сорбироваться на твердых частицах или в жидких каплях. Загрязнители в газообразном виде составляют примерно 90% общей массы загрязнителей, выброшенных в атмосферу, а твердые частицы и жидкие аэрозоли составляют остальные 10%.

Газообразные загрязнители являются, как правило, результатом сгорания топлива и отбросов. В случае с окисью серы горение топлива с высоким содержанием серы в постоянных источниках является основным источником. Высокая концентрация двуокиси серы встречается в районах, где используются уголь или остаточное нефтяное топливо для отопления в городах и для промышленного отопления. Автомобильный транспорт является в основном источником эмиссии окиси углерода и углеводорода, что является результатом неполного сгорания используемого топлива.

Различные группы источников выделяют твердые частицы, которые различаются в большой степени размерами, формами,плотностью и химическим составом. Сгорание топлива, озоление отбросов и потери в результате промышленных процессов являются в основном источником загрязнителей в виде твердых частиц. Хотя эти элементы составляют всего лишь 10% общего количества загрязнителей, выбрасываемых в атмосферу, они представляют собой важную проблему ввиду их весьма разнообразного влияния на здоровье и благополучие человека.

Загрязнители в виде твердых частиц легко переносятся и рассеиваются ветром. Небольшого размера частицы имеют значительную продолжительность пребывания в атмосфере, до тех пор пока они не удаляются оттуда в результате некоторых процессов, таких, например, как дождь или в результате аггломерации в большие по размеру частицы. Частицы, относящиеся к размеру этого порядка,являются частицами, переносимыми даже с помощью дыхания; это значит, что они менее 8 микрон. Сюда относятся также частицы, повышающие мутность атмосферы, что ослабляет солнечную и земную инфракрасную радиацию, и которые поэтому могут влиять на климат в глобальном масштабе.

При благоприятных условиях многие загрязнители, выбрасываемые непосредственно из источников, участвуют в реакциях, происходящих в атмосфере, в результате которых появляются новые загрязнители, например те, которые могут быть обнаружены в фотохимическом смоге. Другим примером может быть комбинация водяного пара с кислотным ангидридом, что дает

кислотный аэрозоль, который вызывает коррозию. Частицы могут представлять собою субстрат для таких атмосферных реакций или могут содержать ничтожно малые количества металлов, действующие в качестве катализаторов. Солнечная энергия и, в первую очередь, ультрафиолетовый участок спектра ускоряют эти реакции.

Концентрация загрязнителей исключительно сильно колеблется в различных городах, а также в пределах одного городского района. Относительная интенсивность и пространственная конфигурация источников, топография и метеорологические условия района влияют на концентрацию загрязнителей. Зоны, наиболее сильно загрязненные в каждом городе, определяются сосредоточением крупных источников загрязнения атмосферы, т.е. это перегруженные транспортом деловые и промышленные районы. В городах, для которых характерна хорошая вентиляция, выбросы загрязняющих частиц рассеиваются более быстро, чем в городах, которые окружены холмами и где нет сильных ветров, и частыми являются температурные инверсии.

ПОСТРОЕНИЕ СЕТИ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КАЧЕСТВОМ ВОЗДУХА

Программа наблюдений за качеством воздуха состоит из трех различных, но взаимосвязанных элементов - сети для взятия проб, лабораторных работ и сбора и анализа данных. При наличии автоматических (непрерывно действующих) приборов потребность в повседневной работе лабораторий в значительной степени сокращается, но проблемы передачи, обоснования и приведения данных усложняются. Проектирование сети требует учета таких положений, как число и типы необходимых станций, их местоположение, частота взятия проб, продолжительность периода, за который берется каждая отдельная проба, и других аналогичных соображений. Тип сети, выбранный для данного городского района, определяет потребности в работе лабораторий и в организации сбора и анализа данных.

Сеть должна строиться таким образом, чтобы обеспечить измерение как загрязнителей, представляющих собой твердые частицы, так и газообразных загрязнителей. Как правило, сеть должна состоять из станций различной сложности, начиная от станций, оборудованных автоматическими приборами для измерения всех основных загрязнителей, кончая станциями, состоящими из отдельных механических (интегрирующих) пробоотборников. Большинство сетей будет состоять из станций обоих типов.

Знание существующей концентрации и характера загрязнения в данном районе необходимо для проектирования сети. Районы с более высокой степенью концентрации загрязнения должны определяться совместно с географическими и временными колебаниями концентрации окружающего загрязнения. Число станций, проводящих наблюдения, зависит в первую очередь от

существующей степени концентрации загрязнения, ее изменчивости и размера городского райсна. Их число должно быть достаточным для того, чтобы позволить определить район или районы, где окружающая концентрация, как можно этого ожидать, будет выше допустимой. Должна также собираться информация о качестве воздуха в других местах, включая негородские части района.

Местоположение станций, ведущих наблюдения, должно быть критическим. Ввиду небольшого числа имеющихся станций они должны быть размещены таким образом, чтобы позволять осуществлять цели программы наблюдений. Станции должны размещаться так, чтобы документально подтверждать максимально высокий уровень загрязнения в районе, измерять степень подверженности населения воздействию загрязнения, измерять загрязнение, связанное с определенными классами источников, и регистрировать уровни загрязнения в негородский районах.

Соображения, на основании которых осуществляется выбор места для наблюдения за загрязнением, являются обычно одинаковыми как при выборе места для наблюдения за одним загрязнителем, так и за несколькими. Важно, чтобы коллектор находился в таком месте, которое позволяло бы собирать данные, являющиеся репрезентативными для соответствующего района и не подвергшимися воздействию близлежащей окружающей местности. Следует также уделять внимание обеспечению единообразия в отношении высоты над уровнем поверхности, а также проблемам удаленности коллекторов от зданий и удаленности источников загрязнения.

Частота взятия проб для механических устройств и время осреднения для автоматических приборов диктуются нормами качества окружающего воздуха. Например, если нормы указаны в днях, часах или минутах, то и частота взятия проб должна спределяться днями, часами или минутами, соответственно. Когда нормы предписаны в среднегодовых величинах или величинах максимальной дневной концентрации, нецелесообразно предусматривать работу всей сети на повседневной основе. Достаточный охват может быть обеспечен с помощью промежуточного взятия проб с частотой, расчитанной статистически для желаемого уровня точности. Таким образом, механические коллекторы могут работать с частотой взятия проб обычно один раз в 3 или 6 дней. Круглосуточное наблюдение должно соответствовать календарным дням, т.е. производиться от полуночи до полуночи, что позволит проводить сравнение со стандартными метеорологическими сборниками.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В настоящее время существует большое число устройств для измерения качества воздуха. В таблице показан общий класс таких устройств и их применимость. Механические коллекторы наиболее часто используются в системах наблюдений, целью которых является сбор интегрируемых проб в полевых условиях. Из этих приборов наиболее часто применяется коллектор большой емкости (Hi-Vol), собирающий частицы на фиберглассовый фильтр. Анализы проб позволяют получить информацию относительно концентраций общего количества взвешенных твердых частиц, следов металлов и других выборочных органических и неорганических загрязнителей. Кроме фиберглассовых фильтров используется мембранный фильтр в целях сбора таких загрязнителей как цинк, асбест, бор и кремний. Усовершенствованный прибор, действующий на основе ударного принципа, используется для измерения отдельных взвешенных частиц различного размера, относящихся к частицам такой величины, которые обычно называются "респирируемыми" частицами. Другие механические устройства, использующие принцип удара жидкости, могут применяться для сбора двуокиси серы, двуокиси азота, сероводорода, углеводорода и аммиака. Эти датчики, хотя они, как правило, предназначены для взятия суммарных проб в течение суток, могут быть модифицированы с целью взятия проб последовательно за один или два часа.

В автоматическом коллекторе-анализаторе взятие проб и процесс анализа объединены в одном устройстве. Этот тип прибора осуществляет непрерывный анализ с выводом данных в читаемом машиной формате или в форме, пригодной для телеметрической передачи данных в центральное устройство накопления данных. Непрерывные анализаторы этого типа имеются в настоящее время для окиси углерода, двуокиси углерода, окиси азота, двуокиси азота, двуокиси серы, неметанового углеводорода, общего углеводорода, метана, озона и сероводорода. В настоящее время существует много приборов и методов для взятия проб и анализа. Приемлемыми методами для взятия проб и анализа являются те методы, которые сравнивались со стандартными или эталонными методами и оказались сравнимыми по точности, эффективности и специфичности взятия проб. Независимо от того, какой метод выбран следует проявлять осторожность прежде, чем приобрести прибор, который еще не был испытан в полевых условиях или не зарекомендовал себя, как надежный.

Обеспечение непрерывного поступления надежных данных требует должного обслуживания приборов. Это включает поверку до установки прибора, а впоследствии, поверку, проводимую на регулярной основе. Наиболее современные приборы непрерывного действия предусматривают автоматическую динамическую поверку по крайней мере один раз в сутки. Предпочтение отдается

динамической поверке с помощью либо устройств проникания, либо с помощью газовых смесей. Статическая поверка зависит от действия стохиометрических факторов и не учитывает эффективности взятия проб непрерывно действующими приборами.

В прошлом работа большинства механических и автоматических анализаторов основывалась на влажностных химических методах. В этих методах есть специфические проблемы, и они не всегда дают удовлетворительные результаты в типичных полевых условиях, потому что они требуют частого присутствия человека, реагенты являются неустойчивыми и приборы требуют сложной водяной системы и точных насосов, что приводит к тому, что приборы являются тяжелыми и громоздкими. В будущем, как мы надеемся, приборы будут использовать физические и физикохимические свойства загрязнителей для их обнаружения и количественной оценки.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Поддержание наблюдательных сетей в должном состоянии требует проведения лабораторных работ, начиная с самых простых и кончая работами высокой сложности. Потребность в лабораторных работах с точки зрения их объема и сложности определяется загрязнителями, представляющими интерес в данном районе, размерами сетей и степенью загрязнения.

Проектирование сети должно идти параллельно с проектированием системы получения и анализа данных, которое должно осуществляться с учетом требований в отношении передачи данных и их использования. Наблюдения за загрязнением являются деятельностью, которая будет иметь далеко идущие последствия; ее можно определить как систематический сбор и оценку аэрометрических и связанных с ними данных, включая данные о качестве воздуха, выбросе загрязняющих веществ и метеорологических условиях. Оно должно включать работу местных, государственных, национальных и глобальных сетей и углубленные исследования отдельных областей и ситуаций. Во всяком случае результатами этой деятельности являются данные и информация, которые после того как они собраны, классифицированы и представлены, могут использоваться исследователем, сотрудником службы по борьбе с загрязнением, промышленностью и населением.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ВЗЯТИЯ ПРОБ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Тип	Использование	Специфичность	Обычное время осреднения	Относительная стоимость(1)	Требуемая подготовка персонала(2)	Примечания
СТАТИЧЕСКИЙ						
Осаждаемые частицы (пылевые осадки)	Картографирование и определение районов, представляющих особую проблему	Общее количество осевших частиц и общие классы загрязнителей	1 месяц	Сбор, низкая; анализы, высокая	Сбор, низкий уровень; анализы - средний	Хорошо оборудованные лаборатории требуются для анализов только для определения районов, представляющих особую проблему, где химические анализы точно укажут конкретный источник. Чувствительны к температуре, ветру и влажности.
Приборы для сульфатирования	Картографирование и общий обзор в отношении содержания двуокиси серы	Реакции на окиси серы, сероводород и серную кислоту	1 месяц	Сбор, низкая; анализы, высокая	Сбор, низкий уровень; анализы, от среднего до высокого уровня	
МЕХАНИЧЕСКИЙ						
Частицы большого объема (Hi-Vol)	Определение суммарного количества взвешенных частиц	Общее количество взвешенных частиц и многократные специфические загрязнители	24 часа	Умеренная	Средний уровень	Для подробных химических анализов частиц большого объема и проб газообразных загрязнителей требуются сложные лаборатории, подготовленные химики; стоимость высокая
Прибор для взятия проб газов	Определение суммарного количества газов	Двуокись серы, двуокись азота, аммиак, общее количество окислителей, альдегиды и другие газы	24 часа	Умеренная	Высокий уровень	
Точечный пробоотборник пленочный	Относительный индекс загрязненности	Не известна	2 часа	Низкая	Низкий уровень	Дает только приблизительное значение загрязненности
АВТОМАТИЧЕСКИЙ						
Газ	Непрерывный анализ газовых загрязнителей	Один газ или группа родственных газов	Непрерывно; суммирование проб, обычно за периоды от 1 до 15 мин.	От средней до высокой	От среднего уровня до высокого	Постоянные измерения позволяют использовать любое желаемое время осреднения. При этом методе обычно достигается более высокая точность, чем при других методах. Поверка упрощается. Данные получаются немедленно.
Частица: запятненность (автоматический ленточный)	Непрерывный анализ степени запятненности	Не известна	Непрерывно; суммирование проб обычно за периоды от 1 до 15 мин.	Умеренная	Средний уровень	

(1) Низкая - до 500 долл. США; средняя - от 500 до 2 000 долл. США; высокая - свыше 2 000 долл. США.

(2) Низкий уровень - уровень, необходимый для обслуживания; средний уровень - техники; высокий уровень - опытные техники или специалисты со вспомогательным штатом специалистов.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛОКАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ

Ф. Пасквилл

ОСНОВНАЯ РОЛЬ И ДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ

Выброс в атомсферу газов и небольших частиц в результате внутреннего сгорания и химических процессов является первопричиной сложных взаимодействий. Можно рассматривать следующие три основные стадии таких взаимодействий:

а) общее перемещение в основных воздушных массах с прогрессирующим распространением в горизонтальной и вертикальной плоскостях;
в) химическое и физическое превращение на стадии воздушной взвеси;
с) удаление из атмосферы под действием различных естественных процессов.

Все эти стадии в определенной мере играют важную роль в деле контроля за результирующим уровнем концентрации загрязнителей. Для локальных явлений, т.е. в пределах, скажем, 10 километров от источника, определяющим фактором чаще всего является фактор а), хотя факторами в) и с) также нельзя пренебречь, поскольку и они иногда могут быть решающими.

Общее перемещение в воздушном потоке вызывает особенно эффективное и прямое разрежение непрерывно выбрасываемых загрязнителей. Через определенный промежуток времени выброшенные в атмосферу загрязнители имеют тенденцию распространяться в объеме воздуха, прямо пропорциональном скорости ветра. С этой точки зрения скорость ветра является одним из наиболее важных метеорологических факторов.

Помимо основной роли переноса и первоначального разрежения загрязнителей нижняя атмосфера обеспечивает также прогрессивные меры по разрежению при распространении в вертикальной и горизонтальной плоскостях благодаря турбулентному и конвективному движениям, которые так или иначе вызывают возмущение стационарного течения. Подобным же образом вещество, выделяющееся в виде концентрированных доз, распространяется как вдоль направления ветра, так и в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Интенсивность турбулентных колебаний в ветре больше в том случае, когда подстилающая поверхность более шероховата, и эта интенсивность в значительной степени определяется нагревом поверхности в дневное время и охлаждением в ночное время. Такой нагрев и охлаждение вызывают характерные изменения температуры воздуха с высотой: резкое падение (большой градиент) в дневное время или возрастание с высотой (инверсия) в ночное время. Промежуточным (нейтральным) условием является незначительное уменьшение с высотой. Большой градиент (неустойчивая стратификация) и инверсия (устойчивая стратификация) профиля температуры соответствуют усиленному или ослабленному вертикальному перемешиванию атмосферы. Глубина атмосферы, на которую распространяется быстрое вертикальное перемешивание (глубина или слой перемешивания) зависит от профиля температуры и часто в значительной степени ограничена верхним устойчивым слоем , в котором наблюдается инверсия.

Колебания скорости, вызывающие вертикальное распространение, происходят настолько быстро,что в большинстве случаев их действие происходит приблизительно в течение десяти минут, т.е. поскольку концентрация с подветренной стороны в результате непрерывного выброса зависит от вертикального распространения, то она будет достаточно устойчивой тогда, когда взаимодействие с воздушным потоком будет продолжаться в течение такого периода времени. Однако те колебания (по направлению ветра), которые оказывают влияние на распространение вдоль границ потока, включают в себя также гораздо более медленные колебания, продолжающиеся несколько часов или дней. Соответственно, непрерывно сокращается средняя концентрация благодаря боковому ветру, тогда как необходимое время экспозиции (или время отбора проб) возрастает до десятков минут, часов, дней и т.д..

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТРАКТОВКА ДИСПЕРСИИ

В настоящее время имеется много литературы,теоретически трактующей влияния атмосферной тубрулентности на диспергирование вещества ветрового происхождения (Пасквилл, 1962 г. /1/; Слейд (Ред.), 1968 г. /2/). Все трактовки требуют идеализации потока ветра, как необходимого условия для представления рассеивающего действия в виде, удобном для математической обработки. Предпринимаются различные степени усложнения в математических анализах, однако все полученные в результате формулы дисперсии непременно имеют общую форму в том смысле, что концентрация с подветренной стороны от источника непрерывной эмиссии:

а) прямо пропорциональна скорости эмиссии;
в) обратно пропорциональна произведению скорости ветра на распространения в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Значение в) представляет собой эффективный объем воздуха, внутри которого распространилось данное количество вещества без учета влияния скорости ветра, исключая прямое разрежение. С этой точки зрения теоретические трактовки только лишь формально определяют связи на простой физической основе, а их значимость заключается в правильном представлении величин распространений в связи с измеряемыми метеорологическими свойствами.

Тот факт, что теоретические трактовки относятся к идеализированным условиям потока ветра и орографии, которые редко встречаются в случаях, когда загрязнение воздуха является проблемой, часто вызывает критическое отношение к их значимости. Более того, фактически случайные изменения в диспергирующем поведении естественной атмосферы таковы, что наилучшее теоретическое обоснование предлагает оценки усредненного поведения, от которых поведение в отдельных случаях может до некоторой степени отклоняться. Это важно иметь в виду, но существуют различные условия погоды и орографии и большое число практических вопросов, для которых будет технически полезно и целесообразно с экономической точки зрения сделать оценки подобных концентраций загрязнителей без достаточно трудных и продолжительных измерений действительных примесей или трасеров, моделирующих их. Во всех случаях предпочтительно, чтобы теоретические трактовки применялись бы учеными с метеорологическим опытом, которые в максимальной степени смогут учесть природу местоположения и орографии, а также неидеальную природу воздушного потока.

ПРАКТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИСПЕРСИИ

Целью любой практической системы, предназначенной для оценки дисперсии атмосферных примесей, должно быть объединение трех следующих компонентов:

а) идеализированных теоретических трактовок, сведенных к простому, но гибкому виду аналитического выражения;
в) практического опыта, накопленного при изучении трасеров и содержащегося в предыдущих обзорах по загрязнению воздуха;
с) специальной информации, имеющейся или достижимой, о каждой отдельной конфигурации местоположения зоны выброса загрязнений и площади подветренной стороны.

Помимо информации о скорости ветра, которая включает общее направление, что является важным при определении зоны, подвергающейся воздействию загрязнения, основной метеорологической проблемой является проблема соответствующего представления распространения в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Полное использование имеющихся в распоряжении теоретических трактовок требует метеорологических измерений, которые, за исключением специальных и ограниченных проектов, слишком детальны и специализированы,

чтобы их можно было получить обычным путем. Примерами являются мелкие детали профиля температуры вблизи земли, величина и масштаб турбулентных флуктуаций. Для общего и широкого практического использования оценка должна быть выражена на языке обычной метеорологической информации.

В имеющейся в наличии обычной информации фактором, наиболее непосредственно отражающим нагрев поверхности в дневное время или охлаждение в ночное время (следовательно, "устойчивость" в нижней атмосфере), является количество облачности. Могут быть определены величины, характеризующие состояние неба совместно со скоростью ветра, для представления категорий устойчивости, и для них могут быть определены "нормальные" значения распространения. Подобная система (Пасквилл, 1961 г. /3/) широко использовалась в течение некоторого времени. Таким образом могут быть сделаны грубые, но полезные оценки влияния данного источника на уровень загрязнения только по данным скорости и направления ветра и состояния неба (с указанием местоположения, даты и времени, что определяет солнечное сияние). Подобная система может использоваться в планируемых исследованиях, а также в оперативных исследованиях при отсутствии специальной метеорологической информации. Можно предполагать некоторые усовершенствования различных аспектов системы на основании увеличившихся знаний и полученного опыта (Пасквилл и Смит, 1970 г. /4/). Точность, которую можно достичь, зависит от того, насколько хорошо условия орографии и потока соответствуют идеализированному состоянию, и от точности метеорологической информации. В отдельных случаях действительная краткосрочная концентрация может так или иначе на несколько порядков отличаться от вычисленной.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ИСТОЧНИКОВ

Выше отмечалось важное значение постоянного выброса загрязнителей с последующим разрежением в атмосфере. Другой очень важной характеристикой источника является его высота над уровнем земли. Подъем выгоден до тех пор, пока шлейф загрязнения целиком не отклоняется вниз. Затем наблюдается определенное вертикальное распространение (и соответствующее распространение благодаря боковому ветру)до того момента, пока граница шлейфа не достигнет уровня земли. Более высокая концентрация загрязнителей находится вблизи источника и, следовательно,удалена от поверхности земли, а максимальная концентрация обнаруживается на некотором расстоянии в зависимости от высоты источника. Вдали от этой точки максимальной концентрации концентрация на уровне земли уменьшается, всегда оставаясь меньше концентрации, которая могла бы наблюдаться при таком же источнике на уровне земли, но все время приближается к этому значению по мере увеличения расстояния.

Для данной высоты источника расстояние, при котором наблюдается максимальное загрязнение на уровне земли, зависит от скорости вертикального

распространения и, следовательно, от устойчивости атмосферы. Таким образом, в условиях неустойчивости влияние поднятого источника может сказываться за очень короткий промежуток времени. С другой стороны известно, что в устойчивых условиях поднятый шлейф перемещается на десятки километров, не оказывая влияния на приземный уровень.

Скорость ветра оказывает значительное влияние на поведение поднятого шлейфа. Помимо явления разрежения скорость ветра определяет количество загрязнителей, при котором теплый шлейф может подняться над вентиляционной трубой и таким образом определяет эффективную общую высоту шлейфа. Сильный ветер удерживает шлейф внизу, и поэтому необходимо некоторое вертикальное распространение для взаимодействия с приземным слоем. Такое влияние скорости ветра противоположно действию непосредственного разрежения. Можно предположить также, что на больших высотах, на которые попадают шлейфы от современных электростанций, скорость ветра также влияет на относительные величины вертикального распространения и распространения боковым ветром, но степень этого влияния пока еще не выяснена. Таким образом, общее влияние скорости ветра может оказаться гораздо сложнее обычной упрощенной трактовки модели поднятого источника. Однако в последних работах в этом направлении /5/ предполагается, что за исключением сочетания слабого ветра и условий неустойчивости, концентрации в среднем несколько меньше концентраций, определенных с помощью упрощенной модели, в которой отношение распространений принято за постоянную величину, которая не зависит ни от скорости ветра, ни от расстояния.

СОВОКУПНОСТЬ ИСТОЧНИКОВ

Несмотря на то, что большой интерес представляет воздействие единичного крупного источника загрязнения, очевидный и, вероятно, преимущественный интерес представляет также совместное влияние ряда различных источников в черте города или городского промышленного комплекса. В последнее время особое внимание уделялось методам определения концентрации загрязнителей, используя в таких случаях описательную и метеорологическую или климатологическую информацию. Это так называемое "математическое моделирование" влияния совокупности источников по существу складывается из влияния отдельных источников, которые являются независимыми и взаимодействующими.

Обобщение можно проводить двумя способами:

а) путем математического интегрирования, которое возможно для определенных упрощенных форм выражения дисперсии и приводит к удобной формуле, представляющей суммарный эффект с точки зрения суммарного выхода над определенной территорией;

в) путем суммирования на ЭВМ - влияние в любой точке, оцененное первоначально отдельно для всех источников или подходящих сочетаний небольших источников.

Необходимо, однако, отметить, что оба метода зависят в конечном счете от справедливости формулы дисперсии и от качества данных относительно источника, скорости и направления ветра и распространения.

Оба метода были опробованы, хотя в последнее время предпочтение отдавалось второму методу /6/. Необходимо очень большое количество арифметических действий, но эти операции могут быть очень быстро выполнены с помощью современных быстродействующих ЭВМ. Спорным остается, однако, вопрос относительно того, всегда ли достаточно верен конечный результат, чтобы он оправдывал большие затраты труда, сопровождающие разработку численных моделей. Существуют некоторые указания (Гиффорд и Ханна, 1970 г. /7/) на то, что сочетание обоих методов может оказаться успешным для исключения большого объема вычислительных работ без значительного уменьшения верности результатов. Преимущество может оказаться особенно значительным при использовании принципа, который заключается в том, что при прочих равных условиях концентрация в данной точке будет определяться источниками, расположенными на относительно небольшой площади с наветренной стороны.

Согласно теоретическому описанию и практическим обзорам можно предположить, что в случае нескольких источников концентрации сильно изменяются от точки к точке в данном районе и от времени. Несмотря на это, можно предсказать с достаточной точностью, (скажем, в пределах фактора два) концентрацию, усредненную за большой промежуток времени и по всей территории, на которой расположено несколько источников. С другой стороны, оценка концентрации для определенного местоположения, даже усредненная за несколько часов, может содержать гораздо большие ошибки (Марш и Уайзерс, 1969 г. /8/). Таким образом, несмотря на то, что многое в методе в) зависит от достаточно точного представления изменения концентрации в пространстве и времени, он представляется не совсем удачным с точки зрения отдельных рассматриваемых в нем местоположений и периодов. Возможно, однако, что применение этого метода к большому количеству периодов может дать удовлетворительную оценку диапазона изменений в данном местоположении (Пасквилл, 1969 г. /9/).

СЛОЖНОСТИ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И ОРОГРАФИИ

Выше отмечалось, что обязательным условием любого простого обобщения относительно локального распределения загрязнения воздуха являются идеализированные условия ровной однородной местности и спокойного потока воздуха. На практике существует большое число отклонений от этих идеализированных условий, важнейшими из которых являются следующие:

а) Влияние построек. Постройки вместе взятые оказывают влияние на общий уровень турбулентности воздушного потока. В таком случае одно из полезных допущений можно оценить тогда, когда дисперсия происходит вдоль границ потока и распространяется далеко вверх за пределы границ построек. Принципиальная трудность возникает вследствие того, что на непосредственное локальное воздействие находящегося вблизи источника накладывается аэродинамическое возмущение, вызванное отдельным зданием. В настоящее время можно сделать предварительные выводы относительно влияния построек. Аэродинамические трубы могут с успехом использоваться для накопления необходимого опыта (Халитский, 1968 г. /10/).

в) Влияние топографии. Неровная местность вносит значительные изменения в общий дрейф загрязнителей. Помимо физического отклонения и явления каналообразования воздушного потока наблюдаются ветры, вызванные охлаждением в ночное время и направленные вниз по склону (стоковые), а также ветры, вызванные нагревом в течение дня и направленные вверх по склонам. На дисперсию атмосферных примесей оказывает влияние вертикальное удерживание воздуха в долинах в условиях устойчивости и естественное сопротивление склонов долины распространению поперечного потока. Были сделаны успешные попытки учета подобных явлений для того, чтобы применить методы, используемые в условиях ровной местности.

с) Слабые ветры и затишье. Эти условия, особенно в сочетании с медленным или ограниченным вертикальным перемешиванием или топографическим торможением потока воздуха, приводят к опасному загрязнению воздуха. Медленный сдвиг и слабая дисперсия в атмосфере недостаточно точно и удовлетворительно определены с помощью обычных методов. При расширении обычных методов результаты должны рассматриваться с большой осмотрительностью, и в этом случае предпочтение следует отдавать опыту, накопленному в условиях неподвижного воздуха.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, КЛИМАТОЛОГИЯ

Первичной основой для составления предупреждений или прогнозов сферы действия критических уровней загрязнения воздуха является знание связей между полем концентрации, распределением источников и метеорологическими условиями. В принципе, процесс потепления может быть поэтому определен путем непрерывных измерений важных метеорологических параметров, таких как уровень турбулентности или детальный вертикальный профиль температуры, на основании которых могут быть оценены эти связи. Практически

для составления предупреждений и прогнозов, также как и для планирования и оперативных исследований загрязнения воздуха, метеорологические требования должны быть в общем случае сведены к требованиям, удовлетворяющим обычной программе национальных служб погоды. Это означает, что параметры связи источник загрязнений - дисперсия должны выражаться через скорость ветра, детальный вертикальный профиль температуры, содержащиеся в обычных аэрологических данных и данных о состоянии неба.

Единственная и основная в настоящее время система непрерывного действия (Маккормик, 1970 г. /11/) использует прогноз предполагаемых явлений и их продолжительности на географически крупных районах с неподвижным воздухом, где предполагается образование загрязнения. Расширение этого чисто качественного прогнозирования "потенциала загрязнения воздуха" становится возможным при использовании простой модели "черного ящика", в которой предполагается, что примеси распределяется одинаково по "глубине перемешивания". Произведение "глубины перемешивания" на скорость ветра составляет эффективный фактор разрежения, который можно применить к количеству примеси, выбрасываемой с наветренной стороны от любой точки. Некоторое приближение к "глубине перемешивания" может быть получено из обычных аэрологических данных с применением той же процедуры, которую применяет синоптик для оценки возможного вертикального распространения конвекции.

Дальнейшим возможным шагом в развитии прогнозирования загрязнения могло бы быть использование прогнозов скорости ветра и облачного покрова для получения прогноза "категории устойчивости", который можно было бы использовать в более точных вычислениях концентрации. В любой последующей разработке необходимо учитывать, что окончательные результаты дают лишь грубое приближение.

Климатологическая статистика скорости и направления ветра и количества облачности, составленная на основании обычных наблюдений, может непосредственно использоваться для удовлетворения любых потребностей в оценке усредненной долгосрочной концентрации или частоты повторяемости определенных уровней концентрации загрязнителей. Этой методикой следует пользоваться осмотрительно не только вследствие довольно грубого представления рассеивающего действия атмосферы, но также и потому, что могут иметь место корреляции в существовании основных метеорологических элементов (например, между облачным покровом и направлением ветра), которые не очевидны из отдельных статистик этих переменных величин.

В настоящее время существует возможность определения более специализированной климатологии для таких характеристик, как глубина перемешивания и категории устойчивости, но до сих пор такой анализ проводился в весьма ограниченном масштабе.

ПРЕВРАЩЕНИЕ И ЕСТЕСТВЕННОЕ УДАЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ

Примеси, представляющие наибольший интерес, не являются ни химически нейтральными, ни постоянно удерживаемыми в атмосфере, и их рассеивание после выброса сопровождается сложной цепью химических реакций (Джанг, 1963 г. /12/) и физическими процессами выпадения.

Одним из наиболее важных превращений является растворение и окисление двуокиси серы, образующее серную кислоту и сульфаты. Растворы могут образовываться на свободных водных поверхностях, на влажной земле и других твердых поверхностях, на растительности, в каплях тумана, в облачных и дождевых каплях. Этот процесс имеет особенно важное практическое значение с точки зрения коррозии материалов. Если окисление происходит в присутствии аммиака, то образуется гигроскопический сульфат аммония, и в аэрозольной форме он оказывает значительное влияние на видимость. Выпадение на землю вместе с дождем или прямое поглощение влажными поверхностями (включая также растения, находящиеся в номинально сухом состоянии) постоянно освобождают атмосферу от двуокиси серы или других вторичных продуктов. Относительное количество двуокиси серы, присутствующей в атмосфере в виде взвеси, зависит от многих факторов, таких как первоначальная высота источника, условия дисперсии, интенсивность дождя и от характера и влажности подстилающей поверхности. Сложность этих процессов отражается в изменчивости эффективного времени жизни двуокиси серы в атмосфере на основании оценок от нескольких часов до нескольких дней (Джанг, 1963 г. /12/; Робинсон, 1970 г. /13/; Мидхем, 1964 г. /14/), и важность этих процессов в определении величины концентрации и локального воздействия двуокиси серы требует постоянного их изучения.

Другими процессами, привлекающими большой интерес, являются процессы, приводящие к так называемому "фотохимическому туману", хорошо известному в Лос-Анджелесе. Фотохимическая диссоциация перекиси азота, которая наблюдается в присутствии определенных углеводородов (включая углеводороды, присутствующие в выхлопных газах автомобилей) ведет к образованию озона, который в свою очередь взаимодействует с углеводородами, образуя соединения, обладающие раздражающими свойствами. Благоприятными метеорологическими условиями для этих процессов являются: ограниченный атмосферный перенос и дисперсия при условии избытка солнечного сияния - сочетание, наиболее часто встречающееся в антициклониальных условиях на относительно низких широтах, особенно там, где наблюдается топографическое сопротивление крупномасштабным потокам воздуха, как, например, в бассейне Лос-Анджелеса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pasquill F., 1962: Atmospheric Diffusion. D. van Nostrand Co. Ltd., London.
2. Slade, D. (Ed.), 1968: Meteorology and Atomic Energy. U.S. Atomic Energy Comm., Div. of Techn. Information, Oak Ridge, Tenn.
3. Pasquill F., 1961: The estimation of the dispersion of windborne information, Met. Mag. 90, 33.
4. Pasquill F. and Smith, F. B.: The physical and meteorological basis for the estimation of the dispersion of windborne material. (To be published in Proceedings of the 2nd International Clean Air Congress, Washington D.C., 1970.)
5. A discussion on recent research in air pollution, 1969. Phil. Trans. Roy. Soc., 265, 139.
6. Symposium on multiple source urban diffusion models. University of N. Carolina, 1969. (In press.)
7. Gifford F. A., and Hanna, S. R.: Urban air pollution modelling. Reference as (4).
8. Marsh K. J. and Withers, V. R., 1969: An experimental study of the dispersion of emissions from chimneys in Reading-III. The investigation of dispersion calculations. Atmos. Environ., 3, 281.
9. Pasquill F.: The prediction of diffusion over an urban area – Current practice and future prospects. Reference as (6).
10. Halitsky J., 1968: Gas diffusion near buildings. Reference as (2).
11. McCormick, R. A., 1970: Meteorological aspects of air pollution. WMO Tech. Note No. 106.
12. Junge, C. E., 1963: Air chemistry and radioactivity. Academic Press.
13. Robinson, G. D., 1970: Long-term effects of air pollution – A survey. The Center for the Environment and Man, Inc., Hartford, Connecticut.
14. Meetham, 1964: Atmospheric pollution. 3rd Ed. Pergamon Press.

ЗНАЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПОГОДУ И КЛИМАТ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

М. Нейбергер

ЗАДАЧИ АКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОГОДУ И КЛИМАТ

На протяжении всей истории человечества оно было заинтересовано в улучшении неблагоприятных условий погоды, будь то засуха, паводок или разрушительная буря. С развитием наук попытки разрешить эту задачу прошли путь от молитв и задабривания божества до активных попыток вмешательства в физические процессы во все более и более крупном масштабе и предложений о распространении этих попыток в континентальном и глобальном масштабах.

Задачи подобного вторжения простираются от защиты фруктовых садов от заморозков до создания навигации в Северном Ледовитом океане и внедрения сельскохозяйственного производства в северных районах Сибири. Эти задачи можно классифицировать по пяти основным категориям: 1) увеличение урожайности сельскохозяйственного производства; 2) уменьшение опасности при перевозках по суше, морю и по воздуху; 3) уменьшение или исключение повреждения имущества; 4) уменьшение экономической стоимости и увеличение доходов семьи, увеличение торговой и промышленной прибыли; и 5) обеспечение комфорта, здоровья и благосостояния населения. Например, предпринимаются попытки искусственного увеличения осадков для стимулирования роста сельскохозяйственных культур, для пополнения запасов воды для бытовых, коммерческих и промышленных нужд или для увеличения производства гидроэлектроэнергии. Рассеивание тумана производится для улучшения условий взлета и посадки самолетов. Проведение экспериментов по воздействию на тропические штормы мотивируются требованием уменьшения смертности и разрушений, вызываемых прохождением таких штормов по территории.

Воздействие на погоду и климат ради таких целей помимо пользы, к которой стремятся, может привести к непредвиденным последствиям. Прямые последствия имеют очевидную взаимосвязь; например, искусственно вызванный дождь, выгодный работнику сельского хозяйства, который выращивает пшеницу, может выпасть на соседний вишневый сад во время созревания вишни и нанести некоторые повреждения. Воздействие на окружающую среду может привести и к косвенным последствиям, которые трудно обнаружить.

Необходимо по возможности оценить нежелательные последствия искусственного воздействия на погоду как в настоящее время, так и в будущем. Для этого в первую очередь мы проведем краткий обзор различных предложений по воздействию на погоду и климат и рассмотрим их состояние в настоящее время.

ПРЕДЛАГАЕМЫЕ МЕТОДЫ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕЛ

Из предпринятых или предложенных методов воздействия на погоду и климат во всех масштабах, начиная от изменения условий, оказывающих воздействие на небольшие участки сельского хозяйства, до изменений, охватывающих значительные территории земного шара, практическую пользу в настоящее время принесли только методы воздействия в малых масштабах.

Применительно к крупным масштабам, предложения по активному воздействию включают изменение радиационного баланса земли путем выброса в атмосферу облаков копоти или кристаллов льда на соответствующих широтах и высотах, либо путем наноса угольной пыли на снежный и ледяной покров на высоких широтах, а также удаление ледяного покрова Северного Ледовитого океана путем перекачивания более теплой воды из Атлантического океана. Однако вследствие огромных трудностей материально-технического характера и возможных нежелательных последствий, такие предложения остаются предметом чисто научных дискуссий. Аналогичным образом идея возможного изменения крупномасштабных систем погоды на умеренных и высоких широтах также принадлежит к сфере неопределенных догадок.

Создание все более реалистичных численных моделей общей циркуляции атмосферы и численных методов прогноза погоды с помощью быстродействующих цифровых ЭВМ даст, вероятно, возможность исследовать результаты измерения радиационного притока или приземных граничных условий атмосферы. Только в этом случае будет возможно определить вероятность и желательность изменения крупномасштабных систем погоды и климата. Усовершенствование методов измерений состояния атмосферы, которые были предприняты Всемирной службой погоды и Программой исследований глобальных атмосферных процессов (ПИГАП), приведет к более надежным исследованиям активного воздействия.

С другой стороны, управление микроклиматом сельскохозяйственных культур с успехом осуществлялось многими поколениями. Примерами такого управления могут служить использование вертолетов для уменьшения неблагоприятных воздействий ветра, а также использование теплиц и компрессоров для предотвращения вреда, наносимого заморозками.

Намеренное изменение городского уличного климата продолжает оставаться на стадии предположений. Они включают предложения по уменьшению существующих концентраций загрязнений воздуха на основе изменения метеорологических условий, способствующих их накоплению. Среди предлагаемых методов можно отметить использование фенов для проветривания, окрашивание крыш зданий попеременно в черный и белый цвета и расположение блоков зданий в шахматном порядке для увеличения конвекции благодаря различному поглощению и отражению солнечной радиации и использование отвода тепла на электростанциях для обеспечения восходящего движения воздуха. Однако ни одно из этих предложений не может быть осуществлено в настоящее время, а некоторые предложения представляются практически неосуществимыми с энергетической точки зрения.

Превращение жидких капель отдельных облаков и тумана в лед при температуре ниже $0^{\circ}C$ путем засева - введения сухого льда(твердых частиц CO_2) или иодистого серебра - представляет собой другой пример заведомо успешной с этой точки зрения процедуры. При таком превращении облака ледяные кристаллы, образовавшиеся в результате этого превращения, превосходят по размерам облачные капли, первоначально присутствующие в облаке, и могут выпадать из облака. Дальнейшие последствия такой процедуры зависят от ряда дополнительных условий. В том случае, если воздух под облаком является ненасыщенным, кристаллы могут полностью испариться прежде чем достигнут земли,и если процесс образования облака идет медленно, облако может распасться и исчезнуть. Если облако мощное, то размеры кристаллов могут увеличиваться по мере их падения через облако и достигать достаточно больших размеров, вызывая испарение в подоблачном слое и достигая земли в виде осадков. Высвобождение скрытой теплоты замерзания может оказаться достаточным для стимулирования восходящего потока воздуха и, таким образом, способствовать подъему облака на большую высоту и увеличению его мощности. Таким образом, при соответствующих условиях засев холодных (ниже $0^{\circ}C$) облаков может быть использован для их разрушения или для предотвращения выпадения осадков из этих облаков. Успех выполнения данной задачи зависит от возможности выбора подходящих условий.

Использование такого метода для рассеивания тумана над взлетно-посадочными полосами аэропортов, что улучшает условия посадки и взлета самолетов и уменьшает время задержки, стало обычным явлением. Засев осуществляется выбрасыванием шариков сухого льда с борта небольшого самолета, пролетающего на необходимом расстоянии с наветренной стороны от взлетно-посадочной полосы. Другой успешно применяемый метод состоит в том, что жидкий пропан выпускается через сопла; расширение пропана с последующим испарением охлаждает воздух до температуры ниже критической, при которой образуются кристаллы льда. Вследствие того, что температура ниже $0^{\circ}C$ сохраняется лишь в течение небольшого промежутка времени относительно

общего времени плохой видимости, вызванной туманом, в большинстве аэропортов мира такой метод является только частичным решением проблемы борьбы с туманом.

Засев облаков сухим льдом или иодистым серебром является в настоящее время основным методом, используемым для предотвращения выпадения осадков. Мишени могут состоять из отдельных облаков, которые тщательно выбираются на основе измерений и вычислений и засеваются при полете самолета через такие облака или над ними. Вопрос может быть решен на более общей основе и засев всех облаков непосредственно над областью, где необходимо выпадение осадков, или с наветренной стороны, может быть выполнен с помощью распылителей газообразного иодистого серебра, расположенных на земле, предполагая, что восходящие потоки воздуха поднимут частицы иодистого серебра до облаков.

Для того, чтобы сказать, будет ли количество осадков, выпадаемых из обработанного таким способом облака, превосходить количество осадков, выпадаемых из облака естественным путем, необходимо знать, насколько велико количество осадков, выпадаемых без засева. Следовательно, вопрос об эффективности засева облаков в условиях увеличивающегося количества осадков остается невыясненным и спорным. Ранее область дискуссии была разделена на две части - с одной стороны находились сторонники того, что засев облаков постоянно увеличивает количество осадков, а с другой стороны - те, кто подвергал сомнению такой вывод. В настоящее время на основе многочисленных статистических экспериментов достигнуто соглашение относительно того, что при некоторых условиях засев действительно увеличивает количество осадков, хотя при других условиях засев может вызвать их уменьшение. Поиск возможности классифицировать такие условия стал одной из основных задач искусственного воздействия на погоду.

Одним из подходов для решения такой задачи является использование численных моделей динамики конвекции кучевых облаков. Применялась одномерная модель для обнаружения облаков, которые увеличивают количество осадков при засеве с помощью пиротехнических средств, выбрасывающих большое количество йодистого серебра. Рандомизированные испытания такой модели в районе Флориды (США) показали, что модель является удачной. Для конвекции в условиях горной местности (кучевые облака, вызванные орографией) разработана двухмерная численная модель. Систематические рандомизированные испытания модели в таких условиях еще не закончены, однако,имеющиеся в настоящее время данные говорят о том, что количество осадков при засеве увеличивается в период местных ливней и уменьшается в период с преобладанием общего вертикального движения, например, в условиях холодных фронтов.

В настоящее время еще не разработаны общие методы обнаружения условий, благоприятных с точки зрения предотвращения выпадения осадков в период обычных ливней. Эксперименты, проведенные в зимний шторм вблизи

Скалистых Гор (США) показали, что в том случае, если температура на уровне 500 мб (высота около 6 км) лежит в пределах от -12 до -18°С, то, вероятно, можно путем засева увеличить количество выпадаемого снега; для более высоких или более низких температур такой эффект незначителен либо полностью отсутствует. Другие критерии для определения "засеваемости" штормов используются в программах активного воздействия, выполняемых в различных местах земного шара, однако все критерии обычно сходны в том, что они определяют, будет ли наблюдаться естественное выпадение осадков. Среди них имеются критерии, которые предсказывают как увеличение, так и уменьшение количества осадков. До сих пор отсутствует удовлетворительный анализ условий, которые вызывают такие различия.

В отдельных случаях эксперименты по засеву предназначены скорее для перераспределения осадков, а не для локального предотвращения их выпадения. В настоящее время имеется программа исследования возможности использования засева облаков для расширения области выпадения снега, который в настоящее время скапливается в пределах узкой полосы восточного побережья озера Эри, на более обширную площадь с подветренной стороны. В некоторых экспериментах делаются попытки увеличить выпадение осадков на подветренной стороне горного массива с помощью воздушных потоков над горами.

Методы, аналогичные методам предотвращения или перераспределения осадков, применяются при защите от града и молнии. Известно, что град наносит значительные повреждения сельскохозяйственным культурам, а молния является одной из главных причин лесных пожаров. Идея методов заключается в том, что в случае засева конвективных облаков превращение облачных капель в лед происходит на более ранней ступени по сравнению с естественным процессом, что предотвращает образование градин большого размера, которые разрастаются, собирая на себе водяные капли, и уменьшает связанные с этим электрические поля в облаках.

Попытки предотвращения выпадения града предшествовали применению современных методов засева. Широко использовались пушки и ракеты. Для оценки эффективности таких систем никаких статистических (рандомизированных) испытаний не проводилось, однако имеются данные о том, что в некоторых районах достигнуты положительные результаты по предотвращению града, в то время как в других районах результаты были отрицательными. Использование наземных распылителей иодистого серебра для предотвращения выпадения града также дает противоречивые результаты. В течение нескольких лет во Франции одновременно с засевом проводились наблюдения за повреждениями сельскохозяйственных культур, наносимыми градом и проводилось сравнение с повреждениями, наблюдавшимися в предыдущие годы. Рандомизированные испытания, проведенные в Швейцарии и Аргентине, показали, что при

засеве облаков выпадение града полностью не предотвращается. В ФРГ проводились испытания с использованием наземных распылителей совместно с запусками ракет, выбрасывающих иодистое серебро; заметного уменьшения выпадения града не наблюдалось.

В широкой программе защиты сельскохозяйственных культур от града, выполняемой в СССР, применяются артиллерийские пушки и ракеты с радарным наведением, которые доставляют засеивающие вещества в ту часть облака, где согласно теории наблюдается рост частиц града. Согласно экспериментальным оценкам, удается защитить от града 50-90% достаточно обширных территорий.

В экспериментах по предотвращению действия молнии использовался засев с помощью наземных распылителей иодистого серебра. Предварительные результаты показывают сокращение примерно на одну треть общего количества разрядов молний. В другом разрабатываемом методе используется распыление в облаке небольших металлических игл, покрытых нейлоном, с тем чтобы вызвать ослабление электрического поля, прежде чем оно станет достаточным для образования молнии.

Для воздействия на облака и туман, температуры которых превышают 0°С, испытывались гигроскопические соли, поверхностно активные вещества и электрические методы. Для рассеивания теплого тумана используется тепло, высвобождаемое при горении большого количества нефти, перемешивание теплого сухого воздуха, находящегося над туманом, с помощью вертолета, который летает над слоем теплого сухого воздуха, а также ультразвуковые колебания; все эти методы приносят некоторую пользу при определенных условиях. При попытках предотвратить выпадение осадков из теплых кучевых облаков используется распыление воды в поднимающейся воздушной массе и больших частиц соли. Испытание метода распыления воды в Австралии и США показали, что доставка самолетом к основанию облака такого громадного количества воды практически неосуществима. Использование частиц соли представляется более реальным, основываясь на сообщениях об успешных испытаниях, проведенных в Пакистане и Индии, однако несмотря на это результаты экспериментов во Франции, Англии и в Восточной Африке были отрицательными.

Привлекает огромное внимание возможность уменьшения интенсивности или изменения направления движения тропических циклонов (ураганов, тайфунов), с тем чтобы уменьшить человеческие жертвы и разрушения на территориях прохождения таких циклонов. Осуществляется проверка гипотезы о том, что массовый засев облаков, окружающих глаз шторма, с высвобождением скрытой теплоты плавления льда, приведет к уменьшению градиента давления и, следовательно, силы ветра в том месте, где согласно испытаниям такие

градиенты максимальны. В некоторых случаях наблюдалось уменьшение максимума силы ветра при засеве облаков, однако такое уменьшение лежит в пределах естественной изменчивости.

АКТИВНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Еще не проведены систематические исследования того, до какой степени предпринятые до сих пор попытки воздействовать на погоду существенно изменили окружающую среду. Последствия активных воздействий весьма трудно выделить из естественной изменчивости, поскольку проводимые до сих пор эксперименты были ограничены как во времени, так и в пространстве. Несмотря на то, что в начале 50-х годов около одной трети территории США, расположенной к западу от реки Миссисипи,было связано торговыми контрактами с "производителями дождя", а в СССР в течение ряда лет над площадью, превышающей два миллиона гектаров, производится засев облаков для предотвращения выпадения града, реальные площади, на которых одновременно производится засев облаков, невелики,и истинные последствия таких экспериментов нужно рассматривать как небольшие добавки к крупным естественным флуктуациям.

Тем не менее, даже малые приращения могут иметь большое экономическое значение. Так,по некоторым оценкам, если засев облаков увеличивает только на один процент выпадение осадков над территориями водохранилищ, питающих гидроэлектростанции Франции, то в результате окупается не только стоимость установки и работы необходимых приспособлений для выброса иодистого серебра. Прибыли, получаемые в результате рассеивания переохлажденного тумана, примерно в пять раз превышают стоимость необходимого оборудования. Экономический эффект от применяемой в СССР защиты сельскохозяйственных культур от выпадения града оценивается в сотни миллионов рублей.

При таких обстоятельствах, в отличие от прямых издержек, внешние издержки не учитываются. При рассеивании тумана такие издержки могут быть минимальными либо полностью отсутствовать. Если увеличение количества осадков выше плотин гидроэлектростанций приводит к уменьшению их количества над сельскохозяйственными районами или если предотвращение выпадения града, наносящего повреждения культурам, сопровождается уменьшением количества дождевых осадков, то урожай может уменьшиться, и такие потери урожая должны рассматриваться как издержки, имеющие тенденцию уменьшать прибыль.

Попытки воздействия на погоду в основном сводятся к тому, чтобы сгладить ее экстремальные факторы в пределах естественной изменчивости.

Попытки увеличения количества осадков в течение определенных периодов или на различных засушливых территориях направлены на то, чтобы покончить с засухой либо превратить засушливые земли в земли, пригодные для сельского хозяйства. Основной задачей является вызвать такие видоизменения в окружающей среде, которые были бы более удобны для нужд и желаний человека. Если оставить в стороне различие в нуждах и желаниях людей - отдыхающему необходимо солнце, а изготовителю зонтов нужен дождь - то успешное выполнение основных задач воздействия на погоду приведет к улучшению окружающей среды. Возможность того, что решение этих задач будет сопровождаться неумышленными и непредвиденными последствиями, которые могут ухудшить условия окружающей среды, рассматривается в следующем разделе.

НЕУМЫШЛЕННЫЕ И НЕПРЕДВИДЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Неумышленные последствия воздействия на погоду могут проявляться мгновенно. Одним из примеров является вероятность воздействия на более крупный район по сравнению с запланированной целью. В результате значительное увеличение или уменьшение осадков будет наблюдаться на расстоянии нескольких сотен километров с подветренной стороны от цели, а в некоторых случаях подобный эффект может наблюдаться с наветренной стороны. Опасения относительно того, что засев облаков для увеличения количества осадков в одной области вызовет "дождевую тень", при которой уменьшается количество осадков с подветренной стороны, до сих пор не подтверждаются. Довольно часто те же явления, которые наблюдаются в области воздействия, как, например, необходимое увеличение или нежелательное уменьшение осадков, наблюдаются и в подветренной области.

Выше уже обсуждалась возможность того, что расширение области выпадения осадков может привести к выпадению осадков не только над теми территориями, где они принесут пользу, но также и там, где в них нет необходимости и где они могут нанести ущерб сельскохозяйственным культурам. Чаще всего соседние земли засеиваются сходными сельскохозяйственными культурами, испытывающими ту же нехватку воды, поэтому при увеличении выпадения осадков путем засева облаков, областям, которые захватываются при выпадении, это также приносит пользу. Однако когда вместо увеличения осадков наблюдается их уменьшение (например, проект Уайттоп), нежелательным является распространение подобного явления на большие территории.

Изменения в выпадении осадков оказывают влияние не только на сельскохозяйственные культуры, а также на естественную растительность. Если климат осадков искусственно изменялся в течение длительного периода времени,

распределение естественного растительного покрова также претерпевает соответствующие изменения. Если изменения температуры сопровождаются изменением выпадения осадков, что может наблюдаться при увеличении облачности и повышенной эвапотранспирации, сопровождающей увеличение выпадения осадков в виде дождя, то будут иметь место более значительные изменения естественного растительного покрова. Изменения естественного растительного покрова будут сопровождаться соответствующими изменениями в жизни животных - насекомых, птиц, рыб и млекопитающих. Купер и Джолли (1969 г.) отмечают, что тот факт, что величина искусственного увеличения осадков (приблизительно от 10 до 20%) находится в диапазоне естественной изменчивости, не означает, что изменение погоды окажет небольшое или вовсе незначительное биологическое влияние. Многолетняя структура растений и животного мира в данной местности определяются средними, а никак не экстремальными климатическими условиями.

Хотя специфическая природа приспособляемости естественного растительного покрова и животного мира к видоизмененному климату требует тщательного исследования, можно предположить, что для различных видов последствия будут различными, так что могут возникать новые виды и устанавливаться новые соотношения между множеством видов, существующих в настоящее время. В частности, вне всякого сомнения подвергнется воздействию баланс между видами насекомых и видами растений, питающих паразитов. Остается невыясненным вопрос о том, насколько будет вредным такой сдвиг, который может сопровождаться массовым появлением насекомых - вредителей или приводить к более частым потерям урожая. Маловероятно, что планируемые действия по увеличению осадков приведут к массовому размножению ядовитых растений, однако можно ожидать некоторое увеличение таких видов в неизвестном количестве.

Экологические последствия видоизменения погоды могут проявляться постепенно на протяжении нескольких лет или десятков лет. Хотя общие изменения могут быть велики, их вряд ли удастся обнаружить в момент появления. Общие последствия активного воздействия на погоду и неумышленное видоизменение окружающей среды вследствие загрязнения и урбанизации могут намного превзойти сумму отдельных изменений. Для оценки таких последствий необходимо учитывать взаимодействие между отдельными видами вмешательства человека в окружающую среду.

Если видоизменения погоды окажутся успешными, то это приведет к изменениям в географическом распределении населения. Помимо производства продуктов питания для растущего количества населения на основе увеличения сельскохозяйственной продукции, увеличение количества осадков в засушливых и полузасушливых районах приведет к преобразованию непригодных в настоящее время районов земли, которые могут использоваться под пастбища и для земледелия. В свою очередь освоение таких земель может

быть обеспечено развитием городского строительства, а потребности городов в воде создадут требование в дополнительном искусственном увеличении количества осадков. Создание земель, пригодных для земледелия,и развитие городов будут вызывать дальнейшее видоизменение климата.

Как планируемые, так и непредвиденные видоизменения погоды и климата оказывают влияние на условия жизни и благосостояние человека. Если, например, количество солнечного света, достигающего земли, уменьшится вследствие загрязнений или путем искусственного увеличения количества и времени существования облачности, то это приведет к определенным физическим и физиологическим последствим. Несмотря на то, что приспособляемость человека настолько велика, что он может адаптироваться к исключительно суровым условиям, восприимчивость человека к болезням и депрессии увеличивается в условиях бедствия. До сих пор неизвестно, будет ли целенаправленное видоизменение погоды способствовать ухудшению или улучшению таких условий. Что касается непреднамеренных видоизменений, то влияние развития городов на климат,с одной стороны, приводит к смягчению холодной зимы и тем самым к сокращению нужды в теплой одежде, а с другой - уменьшает приток солнечного тепла и лишает возможности любоваться ясным голубым небом и дышать чистым воздухом.

Помимо влияния на земледелие, естественные флору и фауну и на человека, искусственное увеличение количества осадков изменяет характер земной поверхности. Особенно в засушливых и полузасушливых районах,где "нужда" во влаге является наиболее острой,выпадение осадков приводит к эрозии, засорению водоемов и наводнениям.Поскольку дороги,мосты и дамбы,построенные в таких районах, расчитаны только на выпадение осадков в естественном количестве, то все эти сооружения могут быть разрушены и должны быть заменены, если количество выпадаемых осадков значительно увеличится. Исторические и археологические памятники, которые сохраняются благодаря засушливому климату, также могут быть повреждены или уничтожены; заменить их, конечно, невозможно.

В процессе видоизменения погоды в окружающую среду могут привноситься токсичные вещества. Таким веществом является иодистое серебро, чаще всего используемое при засеве облаков для увеличения выпадения осадков или для предотвращения выпадения града и разрядов молнии. Детальная токсилогическая информация о свойствах таких соединений отсутствует, однако имеющиеся данные о растворимых соединениях серебра говорят о том, что их концентрация в воздухе и дождевой воде значительно ниже предела, который может оказать отравляющее воздействие на человека и различных млекопитающих. Однако не исключена возможность того, что введение больших количеств может привести к отравляющим концентрациям, либо к куммулятивному эффекту. Рыбы и микроорганизмы более чувствительны к соединениям серебра, однако существующие концетрации, полученные в результате

экспериментов по видоизменению погоды, по-видимому, не оказывают на них вредного воздействия.

Эффективность засева облаков иодистым свинцом примерно такая же, как у иодистого серебра, однако иодистый свинец гораздо более токсичен. Его широкое использование может привести к серьезным последствиям для человека и животных.

Для засева облаков используются или предполагаются для использования органические вещества, такие как хлорглюциноль, метальдегид и гидроксинафталин - 1,5, а в случае теплых облаков обычную пищевую соль (хлористый натрий). Некоторые из этих веществ, например, метальдегид, исключительно ядовиты. Обычная пищевая соль, если ее применять в больших концентрациях, может оказать пагубное действие на растения, а также вызвать коррозию металлического оборудования.

Распыление химических веществ в атмосфере как в целях видоизменения погоды, так и в целях борьбы с вредителями, должно подвергаться тщательному анализу. Прежде чем разрешать применение таких веществ, необходимо выяснить, будут ли они прямо вызывать пагубные последствия, либо они будут оказывать долгосрочное воздействие по мере накопления и увеличения их концентрации в окружающей среде.

НЕОБХОДИМЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Непредвиденные последствия, отмеченные при обсуждении состояния наших знаний о влиянии сознательного видоизменения погоды на окружающую среду, ясно указывают на необходимость более широких исследований. Такие вопросы, как количество и пределы изменений осадков в результате засева облаков, влияние таких изменений на распределение естественной растительности и животного мира, влияние активных воздействий на практику земледелия и развитие городов, непредвиденные последствия в условиях жизни, работы и отдыха - на все эти вопросы следует дать ответ, прежде чем проводить оценки необходимости той или иной программы засева облаков. Аналогичные вопросы должны возникать по отношению ко всем программам видоизменения погоды; прежде всего это относится к программам континентальных и глобальных изменений, когда особенно важно иметь ответы на поставленные выше вопросы.

Соотношения между различными факторами настолько сложны, что необходимо создавать численные модели рассматриваемых процессов и таким образом оценивать их влияния. На первом этапе такие модели должны основываться на грубых оценках, поскольку мы пока игнорируем количественные соотношения. Однако уже в этом случае результаты моделирования с

помощью ЭВМ должны дать более надежные прогнозы последствий применения любой конкретной программы по сравнению с тем, что дают интуитивные догадки, которые в настоящее время составляют основу многих решений.

НЕОБХОДИМОСТЬ В МЕЖДУНАРОДНЫХ СОГЛАШЕНИЯХ ПО МЕТОДАМ И КОНТРОЛЮ

Атмосфера представляет собой объективную реальность; она находится в постоянном движении и для нее не существует государственных границ. Энергия и вещество, попадающие в атмосферу над территорией одной страны, могут оказать воздействие на ветер и погоду во многих других странах. Вещество, которое выбрасывается в атмосферу над одной страной, может препятствовать распределению солнечного света или выпасть на землю в другой стране. Осадки, выпадаемые из облаков в одной стране, могут выпасть над территорией другой страны. Если имеется возможность предотвратить разрушительное действие тропического циклона на территории одной страны, то эти превентивные действия могут вызвать его вторжение на территорию другой страны.

Возможность того, что действия в пределах одного государства могут оказать влияние на погоду и климат других государств или всего земного шара ясно подтверждает необходимость разработки международных соглашений относительно применяемых методов. Подобно другим соглашениям, которые учитывают тот факт, что деятельность в пределах одной страны может быть нежелательной для другой страны, соглашения относительно методов воздействия должны иметь положения о слежении и контроле. Более важными, вследствие имеющихся нерешенных задач в области искусственных воздействий на погоду, должны быть положения стимулирующие обмен информацией, относящейся к возможностям и последствиям видоизменения погоды.

ЛИТЕРАТУРА

Cooper, C. F. and Jolly W. C., 1969: Ecological effects of weather modification: A problem analysis. The University of Michigan School of Natural Resources, Department of Resources Planning and Conservation, Ann Arbor, Michigan.

Derrick Sewell, W. (Ed.), 1966: Human dimensions of weather modification. Department of Geography Research Paper No. 105, The University of Chicago, Chicago, Illinois.

Human dimensions of the atmosphere. National Science Foundation, Washington, D.C., 1968.

Biological aspects of weather modification. Report of E.S.A. Ad Hoc Weather Working Group of the Ecological Study Committee (Daniel A. Livingstone, Chairman). Bulletin of the Ecological Society of America, Vol. 47, pp. 39-78, 1966.

Weather and climate modification. Report of the Special Commission on Weather Modification, National Science Foundation, Washington, D.C., 1966.

Weather and climate modification problems and prospects. Final Report of the Panel on Weather and Climate Modification to the Committee on Atmospheric Sciences, National Academy of Sciences-National Research Council, Washington, D.C., 1966.

Fleagle, R. F. (Ed.), 1969: Weather modification science and public policy. University of Washington Press, Seattle and London.

ГЛАВА II

МЕТЕОРОЛОГИЯ, ПОСЕЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА И ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧЕЛОВЕКА И ОКРУЖАЮЩЕЙ ЕГО АТМОСФЕРНОЙ СРЕДЫ *

Х. Е. Ландсберг

Пребывание человека на земле отмечено постоянной борьбой с климатом. В своем естественном состоянии человек может выжить в очень ограниченной климатической зоне. Он не может справиться с окружающими атмосферными условиями, которые могут быть или слишком жаркими, или слишком холодными. Современная годовая изотерма в 25 °С была характерна почти для каждого жилища, в котором когда-либо жил наш предок. Кроме того, в течение всего времени человеку и источникам его питания необходимо было достаточное количество воды. Годовая изогиета в 1 000 мм изображает соответствующую естественную среду. Во время эпохи человеческого развития за последние 2 млн. лет в рассматриваемых областях произошли незначительные климатические изменения. Но человек из колыбели направился во все части земного шара. Это стало возможным в результате использования огня, впервые, очевидно, возникшего от молнии - зажигание зарослей - и появление одежды и крова. Человек, вторгшись в мир с его враждебным климатом, также обнаружил, что воду и пищу можно транспортировать от их источников. Тем не менее, человеку потребовались тысячелетия, чтобы покорить все части света. Только в наше время все пустыни, ледяные поля и пики были покорены и частично заселены. Имеющаяся техника позволяет человеку выжить в любом месте земного шара и даже в пустыне космического пространства. Однако мы вынуждены признать, что в противоположность всем другим организмам, адаптация человека к различным окружающим условиям является результатом культурного развития, а не генетики /1/.

Тем не менее на протяжении всей истории существования человека подстерегали коварные или пагубные явления окружающей атмосферы. Медленные изменения климата вызвали миграцию. Сезонные капризы погоды приносили голод, а иногда смерть и разруху. Даже сегодня мы не совсем освободились от этих влияний. Мы должны признать, что даже в передовых обществах имели место смертельные случаи, вызванные психологически невыносимыми атмосферными условиями. Даже в такой передовой стране как Соединенные Штаты ежегодно умирает от холода и жары около 900 человек. Это число превышает число всех других смертей, вызванных метеорологическими явлениями. Влияние тепла также существенно, когда периоды, для которых характерно избыточное тепло или холод, приходятся на районы с большим населением. Это четко отражает статистика смертности. Кутшенрейтер /3/ проанализировал ежемесячные показатели смертности в зависимости от среднемесячной

---

* Лекция, прочитанная на Шестом конгрессе ВМО.

температуры в течение нескольких десятилетий в Нью-Йорке (см.рис. 1). Его результаты показывают, что в январе, когда стоит холодная погода, смертность значительно выше по сравнению с теплыми месяцами. Отрицательная корреляция очень высока. И напротив, показатели июля не только значительно меньше, но давали положительную корреляцию, т.е. более высокая температура означает большую смертность, при каком-то более низком уровне корреляции, чем зимой. Отдельные жаркие периоды, особенно если они возникают в начале лета, ярко выражены статистически. После какого-то явного повышения температуры смертность по сравнению с предполагаемой резко повышается [4,5]. Особенно сильно реагируют на такие ненормальные периоды повышения температуры очень молодые и старые. Их регулирующая и циркулирующая системы недостаточно гибки, чтобы компенсировать ту неожиданную внешнюю нагрузку, которая падает на них.

Климат также регулирует эндемические заболевания. Это обычно эффект, проявляющийся на векторах заболеваний. Обычно - это насекомые и паразиты. Типичным примером является малярия. Малярийный комар не выживает в местах, где среднегодовая температура ниже 15°С, а осадки в виде дождя меньше 1 000 мм (см. рис. 2). Другим примером может служить фрамбезия, вызываемая спирохетой, переносимой улиткой. Это животное не может жить в местах, где изотерма меньше 24°С. Для обеспечения ее жизнедеятельности необходимо большое количество осадков, чтобы почва, в которой она живет, была влажной (см. рис. 3).

Все усложняется, когда в вопросе переноса болезней рассматривают два вектора, а не один. Это случай с чумой, когда крысы являются переносчиком инфекционный блох. Цепочка влияния метеорологических условий никогда не была полностью прослежена, однако конечный результат вполне ясен. Сухая погода способствует распространению чумы. Число блох, обнаруженных на пойманных крысах, являющихся разносчиком паразитических бацилл, находится в прямой зависимости от ежемесячного количества дождевых осадков. С увеличением осадков число это явно падает. Число случаев заболевания человека чумой также увеличивается, с некоторой задержкой во времени, после сухой погоды и быстро снижается в период дождей [6].

У человека есть потенциальная возможность регулировать патологическое влияние атмосферных условий. Что касается продуктов питания, то климат здесь более милосерден к человеку. Климат является основной переменной величиной, которая делает земельные участки пригодными для одних сельскохозяйственных культур и непригодными для других. Наиболее критическим элементом является дождь. Было ясно установлено, что осадки в виде дождя являются одним из наиболее изменчивых элементов климата, и, обычно, изменчивость эта тем больше, чем меньше среднегодовое количество осадков. Таким образом, климат является основным фактором, определяющим,

какие участки подлежат возделыванию Благоприятные для сельского хозяйства земельные ресурсы во всем мире ограничены. С увеличением населения земного шара поставка продуктов продольствия, зависящих от метеорологических условий, в последующие несколько десятилетий будет критической, пока не будет достигнуто разумного, постоянного положения [7,8]. Некоторое облегчение положения дали новые типы сельскохозяйственных культур. Однако некоторые из них очень водолюбивы. Пока выпадает достаточное количество дождей, и источники грунтовых вод, используемые для орошения, пополняются, никаких затруднений не возникает. Если вопрос удобрения и борьбы с вредителями решен удовлетворительно, то капризы погоды до сих пор вне нашего контроля или даже возможности их прогнозирования. Участки, на которых выпадают дожди, охватывают огромные территории, которые бы могли обрабатываться. Большая часть их окружена районами с высокой плотностью населения,и поэтому здесь существует большая необходимость отдать часть этих земель под сельскохозяйственное производство. Несколько благоприятных лет и на этих участках появится плуг. В случае неизбежной засухи фермеры и все население окажутся лицом к лицу с жутким бедствием. Поэтому для рационального использования земель необходимы климатические карты на глобальной основе, которые бы давали представление об оценках вероятности частотного распределения благоприятных для сельского хозяйства метеорологических элементов. Тем самым подчеркнется та ответственность, которую несут метеорологи перед всем населением земного шара.

Но не только на земле урожаи зависят от длительных метеорологических колебаний. Популяция рыб в морях также передвигается в унисон с температурными колебаниями. В высокопродуктивных прибрежных водах и эстуариях количество рыбы зависит от температуры и солености. Последняя зависит в основном от притока пресной воды, которая в свою очередь определяется выпадением дождей на больших осушаемых участках.

Я уже указывал на тот факт, что укрытие является мощным барьером между неблагоприятным климатом и жителями. Таким образом, дома и здания должны в оптимальной степени отвечать этой защитной функции. Очевидно, для этого потребуются подробные знания климатических факторов, особенно если учесть, что здания строятся с расчетом на многие десятилетия. Климатические ошибки в расчете конструкции могут вызвать большие эксплуатационные и ремонтные затраты. Они становятся особенно ощутимыми, когда это влечет за собой ненужные требования к скудным энергетическим ресурсам, необходимым для нагрева и кондиционирования воздуха. Строительная техника в состоянии справиться с климатом в любой части земного шара. Но необходимо усилить сотрудничество между климатологами и архитекторами, с тем чтобы рационально использовать имеющиеся климатологические знания [9,10].

Аналогичная ситуация возникает при конструировании более крупных строений, многие из которых должны выдерживать значительно большие нагрузки, чем отдельные здания. Башни, мосты, высокие здания, школы, отели, торговые центры - все они имеют свою особую конструкцию, которая должна учитывать климатический риск, с тем чтобы гарантировать безопасность и комфорт своим потребителям. Редкие метеорологические явления играют здесь большую роль: торнадо, ураганы, сильные бури, метели, бураны, наводнения. Климатологи достигли больших успехов, применив специальные статистические методы для решения проблем, связанных с определением риска и интервалов повторяемости /11/.

К счастью метеорологическая опасность торнадо географически ограничена, но там, где они возникают, сила их разрушения огромна. Несмотря на то, что краткосрочные прогнозы, качество которых непрерывно улучшается, способствуют снижению потерь человеческих жизней, многие строения на пути торнадо разрушаются до основания. Климатологическая задача, принимая во внимание все эти бедствия, становится многогранной. Оценка климатического риска может служить руководством для надежной защиты. Еще лучше может быть информация, которая поможет инженерам-строителям улучшить свои конструкции с тем, чтобы уменьшить повреждения. Этот принцип приемлем к большому числу других метеорологических опасностей. Молния - одно из таких опасных явлений. Молния менее опасна для домов, хотя и немало людей гибнет от молнии в силу своего невежества; она опасна для питающей электросети. От молнии возникает много пожаров в лесу. Статистика этого явления, которое, вероятно, должно быть наиболее разумной целью воздействия на погоду, прискорбно недостаточна. Здесь метеоролог в большом информационном долгу перед своими коллегами-инженерами.

Хотя небольшие бури и вызывают опустошения, их последствия вряд ли можно сравнивать с большой смертностью и разрушениями, вызываемыми сильными циклонами, зарождающимися в тропиках. Причиной этого обычно является не сила ветра, а его вторичное воздействие на прибрежные воды, в результате чего возникают опустошающие бури. Ущерб, нанесенный циклоном в ноябре 1970 г. в Бенгальском заливе, еще слишком свеж в памяти. Устрашающие потери, исчисляемые в 200 000 человеческих жизней, характеризуют это событие как самое ужасное бедствие, когда-либо имевшее место. Ежегодно то там, то здесь люди испытывают на себе, на сельскохозяйственных культурах, своем жилье и прочих сооружениях действие ураганов. Целый ряд наблюдений позволяет нам определить вероятностные уровни возникновения их во всех частях света. Ими можно руководствоваться при проектировании крупных построек и домов, и что более важно, руководствоваться при использовании земель в прибрежных зонах, подвергающихся опасности.

Очень немногие климатические районы не подвержены бедствиям. В холодных районах снег и лед представляют основную опасность. Разновидности таких опасностей можно просто кратко перечислить. В высокогорных районах лавины являются обычным бедствием весной. На равнинах снежные наносы являются обычным явлением зимой, принося большие неприятности водителям легковых и грузовых автомобилей. Ледяные бури кроме того, что они несут с собой большую опасность для транспорта, причиняют обычно материальный ущерб, повреждая электро- и телефонные линии, радио и телебашни, деревья и кустарники. Реки и каналы в районах с холодной зимой могут надолго или периодически замерзать, и чтобы открыть навигацию или временный проход требуется ледокол. В конце снежного сезона на многих реках мира начинается паводок, вызванный сбросом тающих масс снега, часто сопровождающимся весенними дождями. В доисторическую эпоху медленные геологические силы образовали равнины, затопляемые при наводнениях. Человек, однако, во многих местах использовал эту землю. Она обычно очень плодородна и коммерчески выгодна, поскольку она проходит по естественным линиям связи в долинах. Гидроклиматические изучения ежегодных паводков могут дать очень надежные вероятностные оценки различных высот паводков. Эти данные могут успешно применяться инженерами при проектировании работ по защите вдоль русл рек.

Во всех случаях бедствий, вызванных метеорологическими явлениями, обычный прогноз погоды может только предупредить людей о неминуемо грозящей опасности, уменьшить человеческие потери и помочь спасти наиболее ценные вещи. Но он не может предотвратить или предупредить разрушения определенных объектов. Здесь на помощь должно придти климатологическое прогнозирование. Климатологический прогноз не приурочен к какой-то определенной дате. Он просто устанавливает, что в пределах какого-то определенного интервала времени - скажем, за время эксплуатации какого-то строения - можно ожидать метеорологическую нагрузку определенной величины. Стохастическая теория экстремальных величин позволяет сделать такое заявление. Экстремальные метеорологические условия хорошо согласуются со статистическими распределениями для экстремальных величин [12]. Такая информация позволяет строителю выбрать приемлемую величину риска и соответственно этому строить сооружение. К сожалению, эти статистические методы имеют лишь ограниченное применение в климатологии. Тем не менее они дают представление о любой степени риска, исходя из опыта довольно непродолжительного ряда лет (15-20 лет). Пренебрежение опасностью климатического окружения является непростительной ошибкой в инженерном деле. Такое пренебрежение заставляет обратиться к старой пословице: тот, кто пренебрегает историей, должен быть готов к ее повторению.

За последние годы использование климатологического анализа вышло за пределы сферы промышленных предприятий. Там, где, принимая экономические решения, некогда руководствовались рассмотрением лишь проблем наличия сырья, рабочей силы и экономичных средств транспортировки, сейчас заявила о себе проблема окружающих атмосферных условий. Особую озабоченность в этой связи вызывают энергетические установки, работающие на ископаемом и ядерном топливе, которые также являются оплотом защиты от климатических крайностей и необходимостью индустриального общества.

Первостепенное значение имеют в настоящее время различные аспекты загрязнения атмосферы. Защита населенных пунктов и промышленных районов должна основываться на оценках диффузии и дисперсии атмосферы, которые время от времени осложняются фотохимическим смогом, вызванным солнечной радиацией. Эти оценки сильно отличаются от простых данных о температуре и осадках классической климатологии. Они должны основываться на таких параметрах как частота и высота наземных инверсий, направление, скорость и порывистость ветра, интенсивность солнечной радиации в критических областях спектра и интенсивность дождя.

Многие другие технические задачи должны решаться, исходя из климатической информации. Мы назовем здесь лишь несколько: строительство резервуаров и плотин; прокладка и строительство шоссейных дорог и их защита от опасных метеорологических условий; расположение и оснащение аэропортов; планирование воздушных трасс /13/.

Одной из наиболее сложных задач, стоящих перед метеорологом, является оценка возможности человека повлиять на климат. При отсутствии приемлемых теорий естественных колебаний климата к решению этой задачи можно подойти только путем исследования. Современный уровень знаний редко позволяет нам делать категорические заявления. Однако за последние годы было сделано немало таких заявлений. Они включают экстремальные положения. Одни предсказывали новый искусственный век оледенения, другие - потепление, непригодное для жизни. Большая часть этих заявлений была сделана не метеорологами. Несмотря на то, что мы можем заверить наших современников, что климатический день страшного суда еще далек, наш долг энергично заниматься исследовательской программой, чтобы внести ясность в спорные вопросы.

Практически сложными в этом контексте являются проблемы, которые могут быть вызваны обратной связью загрязнения с климатической системой. Здесь имеется в виду ни много, ни мало, как влияние человека на климат в глобальном масштабе. Основное внимание уделялось накоплению искусственно

образованной двуокиси углерода и суспензий, которые могут вызвать нарушение теплового баланса Земли. Современные данные указывают, что влияния эти пока невелики, однако необходима большая осторожность /14/. Основной задачей всех метеослужб мира является активизация деятельности по наблюдениям в глобальном масштабе. В результате возникает необходимость в тщательном обслуживании контрольных климатических станций с тем, чтобы следить за всеми тенденциями, которые могут быть проверенными.

Это, однако, только часть задачи. Влияние других индикаторных веществ в атмосфере, их воздействие на альбедо снежного и ледяного покрова или на распределение дождевых осадков еще не было в достаточной степени изучено. Трехмерная глобальная климатология конденсации и ледяных ядер, например, все еще лишь мечта. И тем не менее, если возникнет необходимость определить воздействие человека на климат путем загрязнения атмосферы, метеоролог не сможет уклониться от этой задачи. Это, безусловно, будет включать тщательную оценку соответствующих эффектов различного рода самолетов, включая сверхзвуковые модели, летающих на больших высотах.

И все же существует искусственное воздействие на атмосферную окружающую среду, которое является бесспорным и ощутимым. Это относится к локальным участкам, особенно в крупных городах и пригородах, где человек в результате своей деятельности произвел большие изменения. Он изменил состав атмосферы, добавив к ней огромное количество жидких, газообразных и твердых примесей. Некоторые из них создают большую опасность для здоровья человека в определенных метеорологических условиях, которые характеризуются инверсиями на низких уровнях и застоем в движении воздуха. Это приводит к образованию "смога". Частицы задерживают солнечную радиацию и снижают интенсивность ее коротковолновой составляющей. Вместе с гигроскопическими ядрами они значительно снижают видимость в городах и близлежащих районах. Здесь происходит также много фотохимических реакций /15/. К счастью, недавний опыт проведения кампании за чистое небо показал, что это обратимые процессы.

Основным климатическим эффектом урбанизации, однако, является образование хорошо известного острова тепла. Мои коллеги и я имели возможность изучить этот эффект In statu nascendi в новом городе Колумбии, Мэриленд США /16,17/. Урбанизация изменяет коренным образом поверхность земли. Сочные луга сменяются мрачными, сухими автомобильными стоянками. Леса и поля уступают место домам и постройкам. Такое радикальное изменение поверхности оказало ощутимое влияние на тепловой баланс. Тепло, которое раньше отражалось или использовалось при испарении, теперь копится в камне и под мостовой. Ночью оно добавляется в атмосферу. Это драматическое явление можно проследить по инфракрасным фотографиям. Искусственное изменение радиационного баланса в настоящее время является определяющим

эффектом в данной местности. Он на порядок величины больше по сравнению с другим антропогенным образованием городского тепла, вызванным метаболизмом,процессами внутреннего сгорания и излишком тепла в промышленности и быту. В более крупных городах последнее может достигать очень высоких значений. Оценки показывают, что зимой на более высоких широтах с малым количеством света, они могут составлять от 1/3 до 1/2 энергии, получаемой от солнца и неба.

Городской остров тепла стал атмосферной реальностью, которой метеоролог должен считаться.

В больших городах он существует не только при ясном небе, в спокойную погоду, но в большей или меньшей степени почти все время. Его даже можно продемонстрировать по среднегодовым изотермам /18/.

Остров тепла имеет целый ряд метеорологических последствий. Он не только поддерживает высокую ночную температуру, но вызывает дивергенцию в поле ветра, которая время от времени приводит к возникновению независимой системы бриза город - сельская местность. Он также влияет на облачность над городом, которая имеет большую тенденцию к образованию конвективных облаков. Иногда эта тенденция может усилить естественную направленность, способствующую образованию ливней и гроз. При очень медленном движении влажных воздушных масс город можно рассматривать как "горячее пятно", которого вполне достаточно, чтобы создать скрытую нестабильность и вдохнуть энергию в зарождающиеся клетки бури. Конечно, трудно доказать, что такие локальные явления возникают только над городами, однако в работах, проведенных в других местах, например, работа Аткинсона /19/ в Лондоне, поддерживается высказанное здесь мнение. Причастность города к образованию искусственно созданных метеорологических условий, несомненно, очень важна для синоптика. Во многих районах большая часть потребителей его продукции живет в городе. Их ежедневная деятельность в значительной степени зависит от осадков. Если явления под-синоптического масштаба играют основную роль в составлении прогноза, то современные схемы численного прогноза не в состоянии охватить эту проблему.

В равной степени важными, но неисследованными, являются вопросы, связанные с влиянием ядерного шлейфа, распространяющегося в направлении ветра. Как теория, так и наблюдения показывают, что обычно поверхностная концентрация загрязнителей падает приблизительно экспоненциально с расстоянием от источников. Поэтому, распространяясь в направлении ветра, они обычно не вызывают беспокойства с точки зрения здоровья. И тем не менее мы знаем слишком мало о том, какое влияние они оказывают на облака и осадки в направлении подветренной стороны города. Будут ли ядра замерзания,

образованные от различных промышленных процессов и процессов горения, стимулировать осадки из переохлажденных облаков? Вызовут ли гигроскопические ядра конденсации образование стабильных облаков и снижение осадков? Смогут ли иметь место оба эти процесса, но в различное время? Целый ряд вопросов остается открытым.

Совершенно иные процессы ночного охлаждения в городе и пригороде или сельской местности возвращают нас снова к вопросам физиологии и удобства. Наблюдения показывают, что эффективные температурные изменения вечером в городе и пригороде очень разноречивы. Можно напомнить, что эффективная температура является хорошим критерием неудобства. В градусах Цельсия граница составляет приблизительно 23°. Летом часто в городах эффективная температура остается выше этого уровня на протяжении всего вечера, в то время как в пригороде она падает до уровня удобства вскоре после захода солнца. В городе, где летом высокая температура, жара сохраняется почти на протяжении всей ночи, и даже если люди могут позволить себе иметь кондиционер, внутреннее тепло поступает наружу и требует атмосферной дисперсии.

Кроме отношения к таким понятиям как комфорт, эффективные температуры имеют прямое отношение к раздражительности человека. Вместе с неизбежными жизненными раздражениями они могут вызывать неожиданную вспышку ярости. Совпадение таких вспышек с высокими эффективными температурами не случайно. Оно глубоко связано с психологическими функциями, которые раздражаются, когда окружающие условия не позволяют произвести нужную потерю метаболического тепла. Здесь мы в значительной степени пренебрегли положением,общим для метеорологических, психологических и социологических факторов.

До сих пор мы рассматривали опасные и неприятные свойства окружающей нас атмосферной среды, но ведь существует много приятных и оздоровительных свойств, которыми может обладать подходящий климат. Он, конечно, связан прежде всего с основными природными ресурсами, которые представляют собой ценные экономические богатства. Уделяя в настоящее время большое внимание профилактической медицине и увеличивая время отдыха, мы должны рационально расходовать такие климатические богатства. Это было многовековой практикой, характерной для многих, да и сейчас во многих районах можно продолжать получать большую пользу, используя климат для отдыха, терапии, спорта и восстановления сил.

Многие места с огромными снежными полями были превращены в огромные источники для занятия оздоровительным спортом, полезным для молодых и старых. Количество и частота выпадения снега могут быть разными, поэтому создатели зимних курортов должны руководствоваться климатическими

возможностями. На зимних курортах, в основном из-за того, что они находятся на высотах, часто бывает много солнца, что привлекает сюда многих горожан, живущих в низинах, на более высоких широтах, где они не видят достаточно солнца. Солнце в таких местах, также как и в других, особенно в районах субтропиков, где зарождается высокое давление, является важной составной частью здоровья. Оно стимулирует периферическое кровообращение и образует про-витамин Д, хотя оно может также вызвать солнечные ожоги и некоторые виды кожных раковых заболеваний у восприимчивых людей. Метеорологи, основываясь на спектральных измерениях солнечной радиации, должны дать информацию о правильной дозировке.

Летом кемпинги стали очень распространенным видом отдыха. Когда и где лучше всего отдыхать? - Это другой вопрос, где климатические данные могут помочь семьям и отдельным лицам спланировать свой отдых.

Больше всего от погоды зависит такой вид спорта, как плавание, как с точки зрения безопасности, так и просто удовольствия. Для этого необходимы климатические данные о ветре и волнах во внутренних и прибрежных водах.

И, наконец, пляжи всегда привлекали любителей спорта и отдыхающих. Их климат, температура воздуха и воды, прохлада и ясность неба - вот все, что требуется тем, кто отдыхает на берегу моря.

Разумное пользование климатической информацией может сделать пребывание человека на земле более безопасным и приятным. Задача метеорологических служб заключается в том, чтобы эта информация попадала в руки потребителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Claiborne, R. (1970): Climate, Man and History. W. W. Norton & Co., Inc., New York, 444 pp.
2. Panzram, H. (1970): Klimaänderungen und Entwicklung der Völker. Naturw. Rundschau 23, 56-59.
3. Kutschenreuter, P. H. (1967): Some effects of weather on mortality. Seminar on Human Biometeorology, U.S. Publ. Health Service, Publ. No. 999 AP-25, 81-94.
4. Oechsli, F. W. and Buechley, R. W. (1970): Excess mortality associated with three Los Angeles September hot spells. Environm. Research 3, 277-284.
5. Landsberg, H. E. (1969): Weather and Health. Doubleday & Co., Inc., Garden City, N.Y. 148 pp.
6. Olson, W. P. (1969): Rainfall and plague in Vietnam. Intl. J. Biomet. 14, 357-360.

ЛИТЕРАТУРА (продолж.)

7. National Academy of Engineering (1970): The Food-people Balance. Washington, D.C. 94 pp.

8. Superintendent of Documents (1967): The World Food Problem. A report of the President's Science Advisory Committee, Vol. II, Report of the Panel of World Food Supply. Washington, D.C. 772 pp.

9. Givoni, B. (1969): Man, Climate and Architecture. Elsevier Publishing Co., Ltd., Amsterdam, 364 pp.

10. World Meteorological Organization (1970 a): Building Climatology. Technical Note 109, Geneva, 260 pp.
World Meteorological Organization (1970 b): Urban Climates. Technical Note 108, Geneva, 390 pp.

11. Thom, H. C. S. (1966): Some Methods of Climatological Analysis. World Meteorological Organization. Technical Note 81, Geneva, 53 pp.

12. Gumbel, E. J. (1958): Statistics of Extremes. Columbia Univ. Press, New York, 375 pp.

13. Maunder, W. J. (1970): The Value of Weather. Methuen & Co., London, 388 pp.

14. Landsberg, H. E. (1970): Man-made climatic changes. Science 170, 1265-1274.

15. Altshuller, A. P. and Bufalini, J. J. (1971): Photochemical aspects of air pollution: A review. Env. Sci. & Technol. 5, 39-64.

16. Landsberg, H. E. (1970): Climatic consequences of urbanization. J. Wash. Ac. Sci. 60, 82-87.

17. Maisel, T. N. (1971): Early micrometeorological changes caused by urbanization. Univ. of Md. M.S. thesis, 48 pp.

18. Dettwiller (1970): Deep soil temperature trends and urban effects at Paris. J. Appl. Meteorol. 9, 178-180.

19. Atkinson, B. W. (1969): A further examination of the urban maximum of thunder rainfall in London. Trans. Pap. Inst. Brit. Geogr. Publ. No. 48, 97.

Ежемесячная смертность в Нью-Йорке
(Кутшенрейтер)

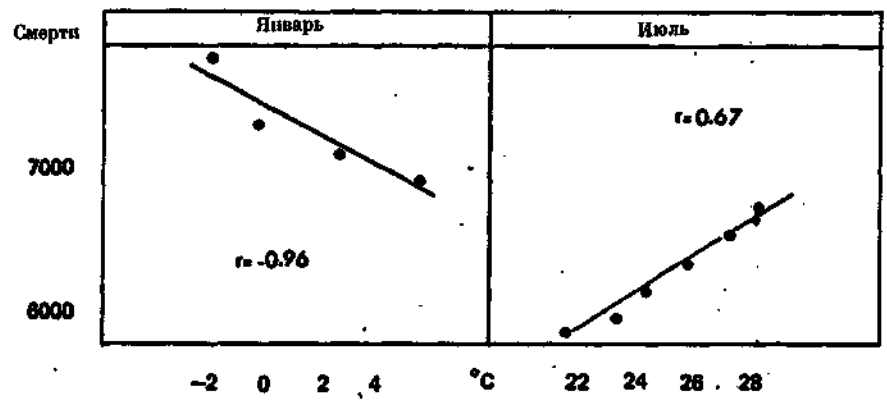


Рис. 1


ОСНОВНЫЕ РАЙОНЫ
ЗАБОЛЕВАНИЯ МАЛЯРИЕЙ
15° C
1000 MM

Рис. 2


РАСПРОСТРАНЕНИЕ ФРАМБЕЗИИ
24°
C

Рис. 3

КАЧЕСТВО ВОЗДУХА КАК ИСТОЧНИК ПОДДЕРЖАНИЯ ЖИЗНИ

Э. Эриксон

ВВЕДЕНИЕ

Очевидно, что человек большую часть времени проводит в постоянном контакте с воздухом. Так как качество воздуха изменяется, человеком были установлены определенные диапазоны допустимости этих изменений. Например, влажность может значительно изменяться, но это не причинит вреда, хотя может доставить неудобства. Температура также изменчива, но человек изобрел много приспособлений, чтобы преодолеть это неудобство, как-то: одежда, отопление и кондиционирование воздуха. В последнее время атмосфера загрязняется в результате деятельности человека, и в некоторых случаях это загрязнение угрожает его благополучию. В других случаях это загрязнение не оказывает вредного влияния непосредственно на человека, но пагубно воздействует на окружающую среду, от которой он зависит. Поэтому, хотя в данном обзоре внимание сконцентрировано на человеке, следует рассматривать жизнь во всех ее формах, так как, в конечном счете, она непосредственно влияет и на человека. И так как большинство форм жизни зависит от качества воздуха, целесообразность изучения этого вопроса очевидна.

СОСТАВ АТМОСФЕРЫ

В табл. I приведены имеющиеся данные по составу атмосферы. Возможно, эти данные неполные, так как весьма вероятно, что атмосфера содержит все элементы, обнаруженные в природе. Присутствие таких составляющих, как азот и кислород, почти полностью объясняет физические свойства воздуха. Некоторые малые составляющие также имеют большое значение. Например, водяной пар играет большую роль в тепловом балансе атмосферы вследствие его способности поглощать излучение и переносить скрытое тепло. Углекислый газ имеет решающее значение для роста ассимилирующихся растений, которые являются первичным источником энергии для всех других форм жизни. Кроме этого, углекислый газ влияет на тепловой баланс атмосферы. Среди оставшихся газов существует особая группа так называемых инертных газов: гелий, неон, аргон, криптон и ксенон, которые не участвуют ни в одной известной химической реакции. Но их присутствие помогает изучить важные этапы эволюции Земли и ее атмосферы.

ТАБЛИЦА I

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРЫ

Вещество или элемент	Химическая формула	Концентрация в воздухе		Примечания
		Число	Единица измерения	
Газы				
Азот	N_2	78,101	% (об)	Постоянный
Кислород	O_2	20,946	% (об)	Постоянный
Аргон	Ar	9,170	ч.м (об)	Постоянный
Неон	Ne	18,2	ч.м (об)	Постоянный
Гелий	He	5,24	ч.м.(об)	Постоянный
Криптон	Kr	1,14	ч.м (об)	Постоянный
Ксенон	Xe	0,086	ч.м (об)	Постоянный
Водяной пар	H_2O	~2	% (об)	Очень изменчивый
Озон	O_3	~2	ч.м (об)	Изменчивый см.текст
Водород	H_2	50	ч.м (об)	Очевидно постоянный
Двуокись углерода	CO_2	317	ч.м (об)	Изменчивый в приземном слое
Окись углерода	CO	~10	ч.с.м (об)	Изменчивый
Метан	CH_4	1,5	ч.м (об)	Очевидно постоянный
Окись азота	N_2O	30	ч.с.м (об)	Изменчивый в приземном слое
Закись азота	NO	~0,01	ч.с.м (об)	Очень изменчивый
Двуокись азота	NO_2	~0,1	ч.с.м (об)	Очень изменчивый
Аммиак	NH_3	~0,5	ч.с.м (об)	Очень изменчивый
Двуокись серы	SO_2	~1	ч.с.м (об)	Очень изменчивый
Сероводород	H_2S	~1	ч.с.м (об)	Очень изменчивый
Хлористый водород	HCl	~1	ч.с.м (об)	Вероятная величина, очень изменчивый
Бром	Br_2			Присутствует в очень небольших концентрациях
Йод	I_2			
Частицы				
Ион хлора	Cl^-	~1	Mg/m^3	Очень изменчивый
Ион сульфата	SO_4^{2-}	~1	Mg/m^3	Очень изменчивый
Нитрат	NO_3^-	~1	Mg/m^3	Очень изменчивый
Аммоний	NH_4^+	~1	Mg/m^3	Очень изменчивый
Натрий	Na^+	~1	Mg/m^3	Очень изменчивый
Калий	K^+	~1	Mg/m^3	Очень изменчивый

Таблица I (продолж.)

Вещество или элемент	Химическая формула	Концентрация в воздухе		Примечания
		Число	Единица измерения	
Частицы (продолж.)				
Кальций	Ca^{2+}	~1	Mg/m^3	Очень изменчивый
Магний	Mg^{2+}	~1	Mg/m^3	Очень изменчивый
Кварц	SiO_2	~1	Mg/m^3	Очень изменчивый
Глинистые минералы		~1	Mg/m^3	Очень изменчивые
Органичеокие вещества		~5	Mg/m^3	Очень изменчивые

Примечания к единицам измерения: Mg/m^3 – микрограммы на кубический метр воздуха в давлении приземного слоя

% (об) – процент по объему

ч.м (об) – частей на миллион по объему

ч.с.м (об) – частей на сто миллионов по объему

В табл. I также указаны некоторые составляющие атмосферного взвешенного вещества. Эти маленькие частицы различными путями с поверхности земли попадают в атмосферу, где они суспензируются и требуется в среднем несколько недель, прежде чем они снова попадут на землю. Этот перечень далеко не полон вследствие разнообразия составляющих, искусственным путем попадающих в атмосферу иногда в значительных количествах. Наличие взвешенных частиц в воздухе уменьшает видимость и количество солнечной энергии, достигающей земной поверхности. Они также увеличивают так называемый рассеянный свет, т.е. свет, который, кажется, излучается всем небом.

Газообразные органические вещества не перечисляются в таблице главным образом потому, что имеется мало данных об их количестве и еще меньше – о структуре. Известно, что такие вещества испускаются растениями и оценки скорости их испускания в воздух часто бывают довольно значительными хотя и не фантастическими. Полагают, что густой сосновый лес создает

так называемую голубую дымку за счет высвобождения терпенов, которые под воздействием солнечного света превращаются в органическое взвешенное вещество. Это вполне возможно, так как осадки содержат приблизительно одинаковое количество нерастворимого органического и неорганического вещества. Органические вещества, выделяемые растениями, участвуют в разнообразных фотохимических атмосферных реакциях, которые изменяют их состав, обычно превращая их в какую-либо форму взвешенного вещества. Известно, что такие реакции происходят в воздухе с углеводородными газами в частности, в присутствии окисей азота, в результате которых получается озон. Однако озон является также и обычной составляющей атмосферы, образующейся на высоте между 10 и 40 км, откуда медленно диффундирует к земной поверхности, где, как принято считать, он разрушается под воздействием органических веществ.

Радиоактивные вещества также не приводятся в табл. I, хотя их много в атмосфере, куда они попадают из естественных источников, однако их концентрация чрезвычайно низка. Радон и торон, например, выделяются из почвы. Оба эти вещества образуют длинные цепочки радиоактивных элементов в воздухе. Другое семейство радиоактивных элементов образуется путем воздействия космического излучения на первичные ядра кислорода и азота в атмосфере. Среди таких элементов лучше всего изучен C14, который имеет большой период полураспада и часто используется для изучения возраста органических соединений, например, в археологии.

Резюмируя можно сказать, что в атмосфере почти нет химически устойчивых веществ. Даже искусственно созданные вещества, попадающие в атмосферу, почти никогда не бывают новыми в ее составе. Сама по себе атмосфера является огромной лабораторией, где под действием солнечной энергии на естественные органические вещества, присутствующие в атмосфере, могут образовываться незнакомые соединения. Однако здесь бывают и исключения. В последние годы было обнаружено, что инсектицид ДДТ в вызывающих тревогу концентрациях аккумулируется морскими животными. Химики доказывают, что трудно представить синтез этого соединения в атмосфере. Если это так, то ДДТ является совершенно новым биологически сильным агентом, который введен в биосферу с неизвестными последствиями.

ЭВОЛЮЦИЯ АТМОСФЕРЫ

Может показаться, что эволюция атмосферы не имеет прямого отношения к рассматриваемому предмету, но существуют данные, которые указывают на огромную роль жизненных процессов в развитии атмосферы, поэтому интересно проследить, как протекали эти события в прошлом.

Эволюция атмосферы тесно связана с эволюцией солнечной системы, т.е. Солнца и планет. Теория расплавленной массы, из которой образовалась Земля, была популярна несколько десятилетий тому назад, но в настоящее время от нее отказались. Теперь полагают, что планеты образовались из расширяющихся газовых облаков, вращающихся вокруг центра, где сформировалось Солнце. Эти газовые облака на 98% состояли из гелия и водорода и по мере понижения температуры другие элементы конденсировались и превращались в небольшие частицы, в состав которых входили водород, кислород (в виде воды или льда), азот, сера и углерод - все в восстановленном состоянии. Так как остальные газы высвобождались, частицы становились все больше, в то время как облако частиц уменьшалось. Вследствие превращения облака во все более плотную массу, выделялось тепло и полагают, что на какой-то ранней стадии несколько тысяч миллионов лет назад произошло их расплавление. Во время расплавления, которое, как полагают, прошло при довольно умеренных температурах, значительные количества воды были перенесены в направлении поверхности Земли. В атмосфере Земли почти не было газов за исключением водяного пара, который под воздействием ультрафиолетовых лучей непрерывно распадался на кислород и водород. В то время как водород выделялся в пространство, кислород поглощался земной корой и углеродом, в результате чего образовывался углекислый газ. Следовательно, углекислый газ появился в атмосфере на ранней стадии, но его концентрация, на основании некоторых физико-химических соображений, никогда не была намного большей, чем в настоящее время. Большое количество этого газа использовалось в процессе выветривания, несущего различные соли в море, где в результате осаждался углекислый кальций. Позднее море превратилось в смесь различных органических веществ, которые, вероятно, фотохимическим способом синтезировались в воздухе из примитивных углеводородов. В океане присутствовали также аммиак и сероводород; таким образом, там были представлены все три основные компоненты современного органического вещества. В этой смеси первые примитивные формы жизни появились в виде случайных комбинаций углерода, азота и серы. Позднее образовался механизм фотосинтеза органического вещества из аммиака, двууглекислых и сернистых соединений. В течение долгого времени в атмосфере не было кислорода, что исключало любую форму жизни вследствие разрушительного действия солнечной ультрафиолетовой радиации. Однако постепенно фотохимическим путем образовался кислород и стал накапливаться в атмосфере после того, как кора земли была более или менее насыщена им. По мере увеличения давления кислорода стал образовываться слой озона и с этого времени уменьшилось количество солнечной ультрафиолетовой радиации, достигающей земной поверхности, в результате чего создались благоприятные условия для жизни. Жизнь из океанов распространилась на сушу и за счет ассимиляции увеличилось дальнейшее образование кислорода.В то же время фотохимическое разложение водяного пара на кислород и водород не имело уже большого значания,так как эта реакция

требовала коротковолнового ультрафиолетового излучения, которое уменьшилось за счет слоя озона. Однако предпосылкой для аккумулирования кислорода в атмосфере явилось то, что эквивалентное количество органического вещества было запасено в образовавшихся отложениях. В течение некоторого периода этот процесс был ярко выражен и привел к образованию ископаемого углерода в угле и нефти, но органический углерод также широко распространен во всех осадочных породах.

Атмосферный азот не мог аккумулироваться до тех пор, пока не появилась жизнь в океанах, и его происхождение проследить труднее, чем кислорода и двуокиси углерода. Азот, имеющийся сейчас в атмосфере, образовался, как предполагают, в результате деятельности нескольких видов бактерий, которые разлагали соли азотной кислоты, в результате чего и выделялся свободный азот. Если бы этого не происходило, азота не было бы в атмосфере, и он весь остался бы в океанах в виде солей азотной кислоты. В будущем концентрация двуокиси углерода в атмосфере вряд ли сильно изменится. Трудно предвидеть, что произойдет с кислородом и азотом в отдаленном будущем, скажем, через миллионы лет. Концентрации в настоящее время, безусловно, являются результатом жизненных процессов в прошлом и, возможно, эти концентрации будут поддерживаться, пока не произойдет сильное изменение жизненных процессов.

ВЛИЯНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА КАЧЕСТВО ВОЗДУХА

Геофизические явления, которые имеют чисто физические причины, могут классифицироваться на явления эндогенного (идущих с планеты Земля) или экзогенного (зависящих от вариации солнечного излучения) происхождений. Наглядным примером эндогенных явлений могут быть извержения вулканов; они могут влиять на качество воздуха. За историю жизни на Земле зарегистрировано очень много таких явлений. Газы, высвобождающиеся при извержениях вулканов, в течение нескольких часов убивали тысячи людей. Однако более известно выделение пыли, которая при извержении вулкана выбрасывается в воздух. Этот выброс пыли происходит с такой силой, что иногда она достигает стратосферы (более 10 км в высоту), где она может оставаться в течение длительного времени, влияя на солнечное освещение увеличением мутности атмосферы. При последнем извержении вулкана Агунг в Бали, 1963 г., было выброшено в стратосферу такое большое количество взвешенного вещества, что оно в течение ряда лет уменьшало на несколько процентов количество прямой солнечной радиации, попадающей на поверхность земли. Однако за счет рассеяния света увеличилось рассеянное излучение атмосферы, что частично компенсировало потерю прямой радиации. Чистая потеря радиации за счет сильной вулканической деятельности предлагалась как объяснение появления ледникового периода, но это не может объяснить отсутствие континентального льда

в течение Третичного периода, когда атмосфера была вряд ли более прозрачна, чем в настоящее время.

Внешние явления также могут влиять на качество воздуха. Например, изменение солнечной радиации определенно повлияет на температуру воздуха. Вполне возможно, что именно такие долгопериодные флуктуации были причиной климатических изменений в прошлом. Температура воздуха, конечно, оказывает сильное воздействие на все формы жизни, особенно на территориальную ассимиляцию растениями. Жизненные процессы в море, однако, значительно меньше зависят от температуры, на что указывает жизнь животных в полярных районах.

Ассимиляция растениями очень сильно зависит от влажности, доказательством чего являются области пустынь. До какой степени изменения солнечной радиации могут повлиять на условия влажности, пока неясно. Распределение засушливых районов хорошо кореллируется с постоянными характеристиками циркуляции атмосферы. Поскольку этот процесс является последствием изменяющейся радиации Солнца, должно произойти расширение, уменьшение или изменение районов нахождения пустыни.

Движение воздуха может также рассматриваться как геофизическое явление, в основном экзогенического происхождения, т.е. зависящее от движения в атмосфере, вызванного уменьшением поступающей солнечной энергии. Движение воздуха является средством переноса и перераспределения различных элементов, которые являются составными частями жизненных процессов. Количество двуокиси углерода в воздухе над полем пшеницы быстро уменьшится, если оно не будет пополненно за счет вертикального и горизонтального переноса воздуха. Это же справедливо для запаса кислорода на земной поверхности. Однако существует предел, когда движение воздуха становится опасным для жизни. Довольно часто возникают ураганы и тайфуны, которые вызывают значительные разрушения не только непосредственно или вследствие паводков, но иногда несут огромную массу морской соли, которая убивает растительность. Труднее прогнозировать торнадо, которые на небольших территориях обладают огромной разрушительной силой. Даже так называемые внетропические циклоны могут явиться причиной опустошения местности за счет силы сдвига ветра. Следует также упомянуть грозы, так как, вероятно, они оказывают психологическое влияние на людей и, возможно, животных. Говорят, что гроза "очищает воздух" за счет очень сильного вертикального обмена воздуха.

РАСТЕНИЯ И ВОЗДУХ

В предыдущих разделах говорилось об ассимиляции двуокиси углерода теми растениями, которые используют солнечную энергию для превращения двуокиси углерода в органическое вещество. В упрощенном виде реакцию можно

записать так:

Двуокись углерода+вода+солнечная энергия→углеводы+кислород.

Существует соотношение один к одному между числом потребляемых молекул двуокиси углерода и числом молекул кислорода, образующихся в процессах ассимиляции. Однако органическое вещество также содержит азот и серу, так что соотношение двуокиси углерода к кислороду не равно единице. Азот в основном поглощается из почвы в виде соли азотной кислоты, но включается в органическое вещество в форме, напоминающей аммиак. Следовательно, кислород, связанный с азотом в соли азотной кислоты, выделяется в виде молекул кислорода. Сера поглощается в виде соли серной кислоты, и в этом случае кислород иона кислотного остатка выделяется в виде молекулярного кислорода. Органическое вещество, образованное в результате ассимиляции двуокиси углерода воздуха, является формой энергии, которую на последовательных ступенях потребляют сапрофиты, паразиты и животные, включая человека.

Кроме ассимиляции, растения также "дышат", т.е. потребляют кислород, для превращения органического вещества в двуокись углерода и воду. Энергия, полученная таким образом, используется для переноса различных продуктов в растения и для синтеза более сложных соединений, которые создают структурные и функциональные части растений.

Ассимиляция зависит от многочисленных факторов, таких как интенсивность света, вода, двуокись углерода в воздухе и питательные вещества почвы. В естественных условиях один или несколько этих факторов могут замедлить рост растения. Днем обычно достаточно света, но рост замедляется при недостаточном количестве воды или питательных веществ. Там, где достаточно воды и питательных веществ,может не хватать двуокиси углерода. Эксперименты показали, что при этих условиях скорость ассимиляции будет пропорциональна парциальному давлению двуокиси углерода в воздухе. В парниках практикуется удобрение двуокисью углерода, т.е. поддержание в воздухе более высоких концентраций двуокиси углерода, чем обычно.

Очень часто обсуждалось, является ли двуокись углерода лимитирующим фактором роста в глобальном масштабе. Существует сколько сторонников, столько и противников такой гипотезы. Однако установлено, что если другие факторы роста не меняются, увеличение количества двуокиси углерода повысит глобальную годовую ассимиляцию. Но степень роста будет зависеть от того, насколько увелнчилась потребность в других факторах роста. Таким образом, это такая же сложная проблема, как и проблема влияния двуокиси углерода на среднюю глобальную температуру.

Хотя растения могут допускать достаточно высокие концентрации двуокиси углерода в воздухе, большое количество соединений оказывают вредное влияние на его рост. Повреждение тканей листьев происходит при превышении определенных уровней концентрации некоторых соединений. Однако когда эти концентрации ниже обычного уровня, не наблюдается этого повреждения тканей, но скорость роста может уменьшиться. По крайней мере при одном соединении (фтористый водород) уровень концентраций имеет меньшее значение, чем доза, которая пропорциональна произведению концентрации на время экспозиции. Допустимые пределы изменяются от вида к виду и, более того, зависят от эволюции среды, окружающей растения. В табл. П приводятся предельно допустимые концентрации некоторых газообразных соединений воздуха как для непродолжительной экспозиции (сильные повреждения), так и для длительной (хронические повреждения). Они могут служить показателем для большинства чувствительных растений.

Растения могут переносить более низкие концентрации двуокиси серы путем превращения ее в листьях в серную кислоту, но если эта кислота достаточно быстро не нейтрализуется, произойдет разрушение. В табл. П приведены уровни концентрации при которых наблюдаются повреждения, присущие окружающей ореде городов. Фотохимический смог (сильный окислитель) является одним из типов загрязнений, которое наблюдается во многих больших городах. Этот смог является результатом фотохимических реакций между газообразными углеводородами и окислами азота. Фтористый водород, оказывающий вредное воздействие на растения, является обычным продуктом производства алюминия.

Повреждение растений чаще всего носит локальный характер, т.е. ограничивается промышленными и городскими территориями.

ТАБЛИЦА П

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕКОТОРЫХ СОЕДИНЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ РАСТЕНИЙ

Газ или соединение	Допустимые пределы		Примечания
	Сильное повреждение	Хроническое повреждение	
Двуокись серы	0,25-0,30 ч.м.	0,05 ч.м.	
Фотохимический смог	~0,05 ч.м.	~0,02-0,04 ч.м.	
Фтористый водород		0,0001 ч.м.	4-недельное облучение гладиолусов
Этилен	0,1 ч.м.	0,05 ч.м.	Чрезвычайно изменчив для различных растений
Двуокись азота	2 - 10 ч.м.	0,05 ч.м.	
Хлор			Тоже, что и для двуокиси серы

ЖИВОТНЫЕ И ВОЗДУХ

Уровень двуокиси углерода в воздухе, который вдыхают животные, влияет на частоту дыхания. Могут быть допустимы ее концентрации в воздухе до 3%.

Вмешательно других химических соединений, присутствующих в воздухе, в процесс поглощения кислорода в большой степени зависит от механизма переноса кислорода в жидкостях тела. У человека и высокоорганизованных животных носителем кислорода является гемоглобин, соединение, содержащее железо, где железо может менять состояние окисления. Во время окисления соответствующих органических соединений в теле под действием молекул кислорода железо окисляется в трехвалентное железо и восстанавливается в двухвалентное железо. Этот "железный комплекс" легко нарушается двумя соединениями; их, в частности, можно обнаружить в воздухе: это окись углерода и соединения солей цианистой кислоты. Окись углерода представляет особый интерес. Она образуется при процессах сгорания, когда недостаточна подача воздуха. Известным источником являются выхлопные газы автомашин, в особенности при холостых оборота мотора. Предел, при котором происходит отравление у человека, несколько спорный. Сильное отравление окисью углерода наступает при концентрации 0,1% по объему, но эффект длительного пребывания при более низких концентрациях фактически неизвестен. Другие соединения могут повредить ткани или дыхательные пути. Известно, что высокие концентрации двуокиси серы наносят повреждения тонким соединениям верхних дыхательных путей; большие повреждения наносят небольшие капельки серной кислоты, которые иногда присутствуют в воздухе. Длительное воздействие кремниевой пыли вызывает хронические повреждения тканей легких человека, что является предметом большого беспокойства на некоторых предприятиях. Также возможно, что некоторые группы органических составляющих воздуха, называемые бензопиренами, образующиеся в процессе сгорания топлива, могут обладать канцерогенными свойствами.

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА

Психологические эффекты качества воздуха зависят в значительной степени от знания физиологических эффектов. Так как подробная информация о последних популяризируется, то возрастает и психологическое воздействие загрязнения воздуха. Это во многих отношениях является признаком здоровья. Так как некоторые составляющие воздуха, приносящие вред, невидимы, то полагают, что загрязненный воздух, это воздух, в котором много взвешенных частиц. Другой психологический эффект загрязненного воздуха заключается в том, что ощущается "грязь" воздуха. Взвешенное вещество, суспендированное в воздухе, покрывает все пылью. Кроме экономического ущерба от такого запыления, многие люди при этом испытывают неудобство от раздражающих

запахов. Существуют и другие факторы, которые заслуживают внимания. В загрязненном воздухе уменьшается видимость и рассеянный свет заставляет напрягать зрение. Резюмируя сказанное, можно отметить, что загрязненный воздух может усилить психологическое напряжение в густонаселенных районах. Это не только символ социального положения. Поэтому стремление городского населения проводить конец недели в примитивных хижинах сельской местности является не только символом социального положения; вероятно, в равной степени их привлекает свежий воздух.

ПЕРСПЕКТИВЫ НА БУДУЩЕЕ

Во-первых, кратко рассмотрим некоторые долгосрочные эффекты постоянного усиления эксплуатации естественных ресурсов. Содержание двуокиси углерода в воздухе медленно увеличивается за счет сгорания ископаемого топлива. Степень увеличения может быть достаточно хорошо спрогнозирована, но влияние на климат предсказать более трудно. Наиболее вероятно, что это увеличит среднюю глобальную температуру, но невозможно предсказать степень этого увеличения. По этому вопросу было много написано, предсказывалось растопление полярных шапок, повышение уровней моря, которое затопит большие территории суши. Даже если это случится, это будет медленный процесс, и катастрофы не произойдет. Наиболее вероятно, что влияние увеличения содержания двуокиси углерода на климат будет невелико.

Другим эффектом является увеличение мутности атмосферы, что, вероятно, приведет к понижению средней глобальной температуры. Но температурный эффект совершенно невозможно предсказать. Более того, взвешенное вещество в нижней атмосфере имеет непродолжительное время пребывания (несколько недель), резкое уменьшение загрязнения быстро уменьшит на больших территориях количество взвешенных примесей. Таким образом, проблему атмосферных аэрозолей можно решить, однако этого нельзя сказать о проблеме, связанной с двуокисью углерода.

В самое ближайшее время перед городами встанут основные проблемы загрязнения воздуха. Могут появиться региональные эффекты, такие как кислые дождевые осадки, которые наблюдаются над некоторыми частями Скандинавии. Но все еще останутся огромные территории с чистым и свежим воздухом и здоровым растительным покровом и животным миром.

ВЫВОДЫ

Вероятно, самой важной мерой ближайшего будущего является уменьшение выбросов примесей в атмосферу, т.е. улучшение качества воздуха в городах, в частности, потому, что они притягивают к себе все больше населения.

Без сомнения, атмосфера является эффективным поглотителем примесей, где они быстро рассеиваются, и всегда будет существовать проблема промышленных источников загрязнения, если из дыма труб не будут удалены примеси. Возможность создания удаленных управляемых на расстоянии промышленных центров, которые могут полностью использовать дисперсионные свойства атмосферы, возможно и реальна, но вопрос заключается в том, насколько это желательно с других точек зрения. Следовательно, эту альтернативу не следует принимать слишком серьезно.

ГОРОДСКОЙ КЛИМАТ *

Т. Дж. Чандлер

ВВЕДЕНИЕ

Урбанизация представляет собой всемирное явление: в настоящее время 30% населения земного шара живет в городах, насчитывающих не менее чем по 5000 жителей и 18% – в крупных городах с более чем по 100000 жителей. И эти пропорции быстро возрастают. Почти везде в развитых и развивающихся странах кирпич, камень, цемент, щебеночные покрытия заменяют поля, фермы и леса по мере того как строятся новые города, растут и превращаются в крупные городские центры существующие города. Почти во всех странах города занимают все больше и больше территории, в результате чего в большинстве их значительный процент общей площади покрывают здания. В Англии и Уэльсе, например, застроенная площадь составляет более 12% общей площади, а в конце века она составит около 16%.

Очевидно, что городская среда является окружением значительной и растущей части населения земного шара. В результате не следует терять из вида тот факт, что если здания группируются в поселки, города – в крупные городские центры, то химические и физические свойства воздуха, циркулирующего между этими зданиями, над ними и внутри их сильно изменяются. Из этого следует, что горожане проводят большую часть своей жизни в особом климате, измененном человеком, наиболее неприятные явления которого можно избежать при разумном планировании, в то время как другие явления могут быть рационально использованы. Изучение изменений, которые города вносят в климат, представляет интерес, который не является чисто научным; эти изменения имеют практическое значение с точки зрения человеческой биоклиматологии, планирования строительства и урбанизации.

Метеорологические последствия урбанизации отмечались в течение нескольких веков; однако, до 1900 г. имелось лишь несколько подробных описаний и еще меньшее число исследований городского климата. С тех пор в индивидуальном и коллективном плане было проведено много наблюдений и теоретических исследований по влиянию зданий на климат.

---

* Лекция, прочитанная на Шестом конгрессе ВМО.

ХАРАКТЕР ГОРОДСКОГО КЛИМАТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ОКРУЖАЮЩЕЙ ЧЕЛОВЕКА СРЕДЫ

В городских районах аэродинамическое влияние комплексной геометрии жилого пространства, термические и гидрологические особенности городской среды, тепло, создаваемое под воздействием обмена веществ и различных процессов горения, и измененный химический состав атмосферы влияют на создание климата, который очень отличается от климата сельских районов. Вообще, при проникновении в города сильный ветер ослабляется, слабый - усиливается; турбулентность воздуха увеличивается, относительная влажность уменьшается, химический состав воздуха изменяется, приток и потеря радиации сокращаются, температура значительно увеличивается, туман становится более плотным, частым и продолжительным, и часто увеличивается количество осадков. При этом наиболее сильные изменения происходят в турбулентности и химическом составе воздуха.

Движение воздуха над зданиями и между ними и особенно вокруг современных небоскребов является очень важным и характерным элементом городского климата, который часто ставит сложные проблемы окружающей среды. Более того, турбулентность воздуха является жизненным фактором, контролирующим распределение других элементов, таких как загрязнение воздуха и температура, и поэтому его изучение лежит в основе изучения городской климатологии в целом.

Турбулентность воздуха, образуемая под влиянием высоких зданий - домов типа башен или спичечных коробок создает иногда почти невыносимые условия среды для пешеходов в соседних торговых центрах. Прикладные исследования становятся все более и более необходимыми в целях избежания таких неблагоприятных влияний.

Необходимо также учитывать режим циркуляции воздуха над городом при принятии архитектурных планов и обслуживании современных небоскребов и,в более широком смысле, при планировке целых городов; это необходимо учитывать, например, для обеспечения нормальной и не чрезмерной вентиляции улиц и разумного размещения определенных промышленных установок, электростанций и других больших источников загрязнения атмосферы.

В области городской климатологии большая часть моделей атмосферной диффузии разработана на основе источников загрязнения в относительно простых климатических и топографических условиях. И очень редко пытались установить более репрезентативные, но гораздо сложные модели эмиссии и диффузии, характеризующие городские зоны. Необходимо провести еще большее количество наблюдений, исследований и опытов, с тем чтобы решить такие проблемы как боковое смещение загрязнения в городских зонах и влияние городов на выбросы из дымовых труб, которые ветер переносит к городской

зоне. Это изучение пространственного распределения атмосферного загрязнения в населенных пунктах позволило бы установить модели для прогнозирования, очень важные для городского и сельского планирования; в частности, для определения расположения зон, требующих специального законодательства по охране от загрязнения. Установление связи между уровнем эмиссий и местных концентраций дыма позволяет надеяться на успех, который можно ожидать от уменьшения эмиссий даже в относительно небольшой зоне; однако, необходимо более глубоко изучить контрасты, существующие между эмиссионной способностью различных видов загрязнителей, которые имеются обычно в городах, включая выхлопные газы автомашин. В области городской климатологии особенно глубоко следует проводить термические и динамические исследования и исследования качества воздуха на городских улицах.

После турбулентности воздуха и загрязнения атмосферы третьим наиболее важным аспектом городской климатологии является влияние городов на радиоактивный обмен и тепловой баланс.

Здесь также речь идет о глубоком изучении комплексных физических процессов. Исследования показали, что обратное рассеяние и поглощение солнечных лучей загрязняющей пеленой, простирающейся над городом, часто оказывают влияние на уменьшение, иногда даже на одну пятую часть, приема на земле коротковолновых лучей.

В зонах с большим загрязнением уменьшение может составлять половину видимых лучей и 4/5 ультрафиолетовых, что увеличивает опасность загрязнения через атмосферу. Наоборот, борьба против загрязнения должна привести к увеличению инсоляции, а также к чистоте воздуха. В центре Лондона, например, средняя инсоляция зимой составляет теперь 50%, т.е. больше, чем она была до принятия в 1956 г. мер по очистке воздуха. Лондон стал местом жительства не только более чистым и более здоровым, но и намного более солнечным. Кроме того, в результате увеличения инсоляции увеличилась приземная температура, усиливая тем самым тепловую турбулентность в воздухе, что в свою очередь влияет на уменьшение средней концентрации сернистого газа, и все это происходит несмотря на увеличение эмиссий. Наконец, очищение воздуха в Лондоне улучшило видимость. Однако еще очень трудно выразить эти изменения количественно, так как это потребовало бы большого контроля за пределами городской зоны.

Во многих городах обычно более высокая температура застроенного пространства является предметом детальных исследований (см. рисунок). Исследования показали тесную связь между формой теплого воздуха или очага тепла и формой и плотностью городского развития. Протяженность города играет менее важную роль, как это считалось ранее, так как относительно интенсивные очаги тепла образуются в довольно небольших городах, особенно в спокойные периоды. Другие исследования показали, что очаги тепла

являются поверхностными явлениями, при которых верхние этажи отдельных высоких зданий часто находятся над основной массой теплого воздуха.

Поскольку потребность в отоплении внутри зданий зависит в большей степени от температуры внешнего воздуха, специалисты по вопросам отопления должны учитывать интенсивность очагов тепла, так как это им позволяет значительно сократить стоимость отопления в центре города, где температура воздуха ночью может быть на 10% выше, чем в пригородной зоне.

Определенное число физических моделей, составленных на основе теоретических и практических исследований очагов тепла, позволяет надеяться на возможность прогнозирования интенсивности этого явления в местном масштабе.

Эти прогнозы будут представлять интерес прежде всего для специалистов,изучающих загрязнение воздуха в городах,так как уже было показано,что очаги тепла образуют на поверхности циркуляцию воздуха,направленную к центру города,которая изменяет распределение загрязнителей и содействует сохранению особенно сильных градиентов загрязнения, обнаруживаемых у границ населенных пунктов. Более высокая температура может рассматриваться либо как преимущество, либо как неудобство в зависимости от региональных климатических условий. При холодном климате можно оборудовать города таким образом, чтобы увеличить очаги тепла, в то время как в других условиях можно изучить более сильную турбулентность воздуха с тем, чтобы избежать застой очень теплого воздуха в глубине улиц и в защищенных укрытиях для пешеходов.

Наконец, городские климатологи очень заинтересованы в исследовании того, как городская зона является иногда причиной местного увеличения осадков. Снежные хлопья тают иногда во время прохождения через очаги тепла, и в целом лежащий на земле снег исчезает быстрее на улицах и в городских парках, чем в пригородной зоне. Мало имеется материала по разнице, которая может быть между общим количеством осадков в городах и в соседних сельских районах; эта проблема, следовательно, слабо изучена. Следует провести многочисленные метеорологические исследования прежде чем определять значение и масштаб этого явления, однако имеющихся в настоящее время материалов достаточно, чтобы поставить этот вопрос, который не является чисто научным, поскольку в результате этих исследований можно было бы изменить, например, способ установления систем осушения ливневых вод.

ВЫВОДЫ

В настоящее время изучаются все указанные выше аспекты городской климатологии; однако, необходимо проводить новые исследования даже в развитых странах. Кроме того, очень мало исследованы образования в низких и высоких широтах и необходимо заполнить этот пробел: физические модели, установленные для одного климата, не соответствуют обязательно другому климату.

Как и во многих других разделах прикладной климатологии, необходимо добиться большего, чем это было в прошлом, соответствия между теорией и практикой. Метеорологи, специалисты по городской климатологии, архитекторы, инженеры, плановики и работники здравоохранения должны сотрудничать между собой в целях обмена сведениями и мнениями для того, чтобы максимально использовать выгоды и уменьшить неудобства различных аспектов городского климата, которые уже известны и которые предстоит еще установить. Эти аспекты являются и продолжают быть важным экологическим элементом окружающей человека среды для растущего количества населения земного шара.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ И РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Дж. Т. Питерсон

Применение метеорологии и климатологии для решения вопросов использования земель, планирования городов и планирования размещения промышленности часто приносит экономическую и практическую пользу и пользу для окружающей среды. В некоторых случаях рассмотрение климатологических вопросов предшествовало планированию новых городов или реконструкции в черте города (например, г. Китимат, Британская Колумбия, Канада и г. Колумбия, Мэриленд, США). При планировании города Китимат специалисты возражали против разработки долины реки, несмотря на то, что там не было зарегистрировано паводков. Однако долина была затоплена вследствие стока воды, последовавшего за вырубкой леса и строительством города. Вообще говоря, метеорология может значительно шире применяться в данных областях по сравнению с тем, как она применяется в настоящее время.

Метеорологи могут выпускать два типа прогнозов погоды; обычные прогнозы для населения на один - три дня и климатологические прогнозы. Обычные прогнозы предупреждают население об ожидающихся явлениях, таких как жаркая погода или слабая дисперсия атмосферы, сопровождающаяся высокой концентрацией загрязнения. С другой стороны, климатологический прогноз не предусматривает информации для какого-либо определенного дня, а скорее указывает на статистическую вероятность того или иного явления; например, климатологический прогноз может предсказать, что в течение десяти лет пятидневный продолжительный застой возуха в данном месте будет наблюдаться три раза. С помощью подобной информации власти города могут оценить возможное возникновение критической концентрации атмосферных примесей. Таким образом, климатологические прогнозы обеспечивают информацию, которая может использоваться в различных областях планирования. Учреждения национальных метеорологических служб заинтересованы в такой климатологической информации, несмотря на то, что такая информация не всегда поступает регулярно.

ПЛАНИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В общем планировании поселений удобный участок земли может быть выбран несколькими способами. В этом случае климатологическая информация

может оказать помощь при определении места поселения, учитывая такие факторы как влияние выброса промышленных отходов в атомсферу и возможность расширения зоны отдыха. Поскольку население земного шара постоянно увеличивается, процент земель, используемых для целей городского строительства, возрастает. Все это, наряду с потреблением естественных ресурсов, выдвигает на первое место вопрос об эффективном планировании и использовании имеющихся в распоряжении земель. Например, в настоящее время из-за повышенных требований, критические с точки зрения климатологии области планируются для отдыха. Строящийся лыжный курорт на южном склоне Аппалачских гор в восточной части Соединенных Штатов будет удовлетворительно работать лишь при искусственном вызывании снега в дополнение к естественному снегопаду. Разработке таких участков, как парки и заповедники способствуют сотрудники заповедников. Но в то же время коммерческие цели требуют разработки этих же территорий для промышлениости, различных подразделений, гаваней и т.д. Таким образом, должны быть сформулированы требования населения, которые бы принимали во внимание метеорологические аспекты для использования территорий таким образом, чтобы требуемое расширение промышленности сопровождалось сохранением участков для отдыха в их полуестественном состоянии.

Участки, занимаемые крупными столицами, видоизменяют некоторые компоненты климата по сравнению с естественными. Наиболее значительной характеристикой климата города является повышенный нагрев или остров тепла, который наиболее заметен в ночное время, когда преобладают антициклонические явления погоды. Помимо этого, количество осадков над территорией города может несколько увеличиваться, тогда как солнечная радиация и видимость уменьшаются вследствие увеличения концентрации загрязнителей. Поток местного ветра в нижних слоях может конвергировать над территорией города, причем такой процесс, вообще говоря, происходит медленнее, чем в случае регионального потока. Более того, часто вблизи построек поток ветра значительно изменяется по сравнению с потоком на открытой местности. Метеорологи могут оказать помощь в этом направлении, учитывая подобные климатические явления при планировании городского строительства.

С точки зрения окружающей среды полезным является планирование городских территорий с созданием парков или "зеленых" зон. Изменяя плотность застройки и количество зеленых зон, можно до некоторой степени контролировать интенсивность острова тепла в городе. Таким образом, в теплом климате интенсивность острова тепла в городе может быть уменьшена путем чередования построек, зеленых зон и тенистых деревьев и в этом случае может быть уменьшена смертность населения и неудобство испытываемое им во время длительных периодов жары. Другим преимуществом зеленых зон в городах является более низкий уровень концентрации загрязнителей. Деревья, особенно хвойные, эффективно удаляют некоторые примеси из воздуха, проходящего через них. Размещая зеленые зоны между источниками загрязнения, специалисты,

занимающиеся планированием города, могут увеличить разрежение этих примесей. Поскольку такие деревья приглушают шум от источников, проходящих через них, защитные насаждения вдоль обочин шоссе смогут значительно улучшить условия жизни в близлежащих кварталах.

Климатология вторгается во многие области планирования и использования городской территории. Если учитывать климатические факторы при проектировании зданий, то можно получить прибыль от 10 до 20% в год за счет уменьшения расходов на отопление и охлаждение. Например, удачный выбор размера и расположения окон может дать дополнительный нагрев за счет солнечной радиации. Хвойные деревья, посаженные с холодной подветренной стороны, сохраняют тепло здания в течение зимы, тогда как лиственные деревья посаженные с солнечной стороны, понижают температуру в течение лета. Климатологические прогнозы могут также предоставить строителям и специалистам по планированию информацию относительно вероятности суровой погоды. Например, статистически можно установить частоту появления сильных ветров, сильных дождей и паводков, сильного снегопада, прибрежной штормовой зыби и пр. Эта информация может использоваться в качестве руководства для размещения промышленных предприятий, зависящих от погоды, а также зон отдыха. Однако эти статистические данные должны применяться с некоторой осторожностью, поскольку климат может изменяться от десятилетия к десятилетию и его нельзя считать статичным. Так, системы обогрева некоторых зданий, разработанные для теплых 30-х и 40-х годов, в течение более прохладных 60-х годов работали не эффективно.

Климатологическое планирование может эффективно применяться для строительных проектов в более крупных городах (например, размещение и работа аэропорта). Организации и авиакомпании терпят убытки и испытывают неудобства, когда возникает необходимость закрыть аэропорт из-за плохих погодных условий. Элементы климата также должны приниматься во внимание при конструировании спортивных сооружений. В г. Хьюстон, Техас, США, где лето обычно бывает жарким и влажным, был построен постоянный купол, прикрывающий бейсбольную площадку. На остальной территории стадиона были установлены кондиционеры и сейчас любая игра проводится при одинаковых условиях погоды. В более крупном масштабе климатологические консультации могут оказать помощь при планировании шоссейных и железных дорог, соединяющих различные города. В условиях, когда загруженные автотрассы скрыты плотным туманом, происходит большое количество автомобильных катастроф. Если можно определить районы, где часто наблюдается туман, что,видимо,связано с топографическими характеристиками, то строительство дороги следует вести таким образом, чтобы обойти эти районы.

РАЗМЕЩЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Климатические соображения относительно размещения промышленности относятся в основном к различным аспектам качества воздуха. Если предполагается, что какое-то определенное предприятие будет выбрасывать в атмосферу данное количество загрязнителей независимо от его местоположения, то применение климатологического анализа при выборе места может уменьшить концентрации загрязнителей в окружающей среде по крайней мере внутри промышленного комплекса. Наиболее важными метеорологическими параметрами, влияющими на дисперсию загрязнителей являются: направление ветра, скорость ветра, высота вертикального перемешивания (толщина слоя атмосферы, в котором происходит перемешивание примесей, выделенных с поверхности земли) и турбулентность атмосферы. Некоторые участки могут оказаться более пригодными для размещения промышленных предприятий по сравнению с другими, зависящими от изменения этих параметров на площади, занимаемой крупным столичным городом, что часто связано с топографическими характеристиками. В более крупном масштабе климатология обширных систем погоды, включая средние положения циклонов, антициклонов, фронтов и т.д. и локальных метеорологических условий, поможет выбрать лучшие средние условия дисперсии примесей в некоторых областях района по сравнению с другими областями.

Определенные топографические характеристики могут изменить общие метеорологические условия и, следовательно, повлиять на дисперсию загрязнителей. Двумя такими характеристиками являются обширные долины и акватории. Внутренняя область долины часто защищена от общего потока ветра и поэтому в этой области наблюдаются более слабые ветры по сравнению с близлежащими возвышенностями. Более того, инверсии температуры, часто наблюдающиеся в долинах, изолируют инертную нижнюю атмосферу долины от верхней. Таким образом, поскольку загрязнители, выпущенные в воздух долины, как правило довольно медленно подвергаются дисперсии, то такие области заведомо нежелательны для размещения промышленности.

Вблизи больших озер и океанов бриз с суши или с моря часто является результатом разницы в температурах воды и суши. Бриз дует с моря в дневное время, а со стороны суши - ночью. Если поток ветра слаб, то смена суточного цикла морского бриза приводит к тому, что часть загрязненного примесями воздуха удаляется из данной местности и возвращается только при изменении направления ветра. Такие явления перемены направления местного ветра характерны для района Лос-Анджелеса.

В дополнение к метеоэлементам, характерным для городской зоны, можно применять другие метеорологические факторы при решении задач индустриального строительства. Основным условием является размещение источников загрязнения с подветренной стороны от жилья и административных зданий. Однако

наиболее предпочтительным в этом смысле является не преобладающее направление ветра, а то направление, при котором в окружающей среде наблюдается максимальная концентрация загрязнителей (например, в период оседания копоти, слабой дисперсии атмосферы или в периоды максимальной интенсивности выбросов). Поведение локального ветра вблизи зданий как правило совершенно не похоже на поведение такого ветра в условиях ровной местности, и загрязнители, выбрасываемые низкими трубами и вентиляционными шахтами зданий, быстро достигают земли и создают в поверхностом слое высокий уровень концентрации. В противоположность этому загрязнители, выбрасываемые из высоких труб, довольно часто успевают раствориться не достигая поверхности земли. Несмотря на то, что высокие трубы не могут всецело определять контроль за загрязнением, некоторые специалисты оправдывают их использование. Вопросы выбора необходимой высоты и конструкции таких труб с точки зрения стоимости и уменьшения уровня загрязнения у поверхности земли прямо связаны со знанием местного климата. Краткосрочные прогнозы погоды можно использовать для регулирования выброса промышленных отходов. При полном безветрии выброс загрязнений необходимо уменьшать до такой степени, чтобы концентрация загрязнителей в окружающей среде не достигала критического уровня.

Если весь район рассматривается с точки зрения размещения нового промышленного комплекса, то необходимо более детально учитывать климатические аспекты. Участки внутри рассматриваемого района, возможно, имеют похожий, но неоднородный климат, и такие изменения могут оказать значительное влияние на дисперсию примесей. Когда выбираются участки для промышленных комплексов, обладающих определенным потенциалом загрязнения, необходимо учитывать такие факторы, как региональные измененения дисперсии атмосферы, повторяемость условий застоя и преобладающие направления ветра.

Основным методом, учитывающим большинство таких концепций, особенно тех, которые относятся к загрязнению воздуха, является математическая модель дисперсии атмосферы в крупных столичных городах. В таких моделях используются преобладающие метеорологические условия для оценки влияния совокупности источников загрязнения на уровень концентрации загрязнителей на данном участке. Модели легко применять для определения эффекта добавления или исключения источника либо источников на мгновенное или среднее значение концентрации в любом месте города. Такие модели позволяют возпроизвести почти любой тип источника, будь то труба или поток автомобилей на перегруженном шоссе. Несмотря на то, что интенсивное моделирование уже проведено для специфических городских участков, остается проделать большую работу до того времени, когда такие модели будут широко использоваться с гарантированной точностью. В первую очередь такие модели должны лучше учитывать влияние химических превращений и естественное удаление загрязняющих примесей.

СТРОИТЕЛЬНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ

Х. Рид

Окружающая человека среда представляет собой сложную структуру, состоящую из культурных, социальных и физических аспектов. Обычно считают, что физические аспекты составляют лишь незначительную часть формируемых человеком представлений об окружающей его среде. Это справедливо лишь до тех пор, пока физическое окружение не начинает оказывать неблагоприятного воздействия на человека. В городах,однако,это неблагоприятное воздействие начинает приобретать большое значение. В ряде случаев загрязнение атмосферы явилось причиной временного роста смертности, когда его действие усиливалось неблагоприятными метеорологическими условиями. Даже при нормальных условиях загрязнение атмосферы может оказывать вредное устойчивое воздействие на жизнь человека, животных и растений. Кроме того постепенно ухудшается шумовой климат.Если не будут найдены более совершенные средства борьбы с действием этих факторов физической окружающей среды, то через несколько десятилетий большая часть населения мира будет поражена расстройством психики благодаря шумам.

Следует предпринять энергичные меры с целью предотвратить такое развитие, которое приведет к тому, что качество физической окружающей среды в будущем станет абсолютно неприемлемым. Что касается загрязненности атмосферы, то политические деятели и администраторы начали предпринимать шаги, на основе знаний, которые имеются в нашем распоряжении в настоящее время, а также начали проведение исследований, имеющих целью улучшение информации, на основании которой будут приняты решения в будущем. Важно, однако, наряду с этой работой рассмотреть другие черты физической окружающей среды с тем, чтобы было возможно избежать не оправданного необходимостью ухудшения окружающей среды. Если наши знания будут усовершенствоваться, мы сможем создать приемлемую окружающую среду при тех же затратах, что и при проведении политики невмешательства, которая имеет своим результатом создание неблагоприятных условий окружающей среды. Чтобы это оказалось возможным, мы должны знать, как в настоящее время можно воздействовать на распределение температуры воздуха, солнечную радиацию, ветер и осадки в непосредственно окружающей человека среде. Кроме того мы должны знать, как взаимодействуют эти элементы, для того чтобы благоприятно воздействовать на окружающую среду, улучшить условия жизни растений и сократить до минимума разрушительное воздействие климата на здания и установки. Необходимо поэтому, чтобы у нас имелись фундаментальные межотраслевые знания по различным

аспектам строительной климатологии для того, чтобы мы могли создать - в пределах реально существующей экономической базы - оптимальные условия окружающей среды для повседневной жизни человека.

ЗНАЧЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Основные данные для этого содержатся в метеорологической информации о том, каким образом макроклимат постепенно изменяется в результате шагов, предпринимаемых на различных уровнях в ходе физического планирования.

На региональном уровне строительная деятельность, такая как размещение промышленности, сетей связи и аэропортов влияет на первоначальный макроклимат. В результате эмиссии тепла, загрязнителей атмосферы и создания шумов региональное физическое планирование создает региональный климат, который определяется размещением этих источников загрязнения, господствующими ветрами и частотой таких явлений, как инверсии и осадки.

В свою очередь региональный климат подвергается воздействию застроенных районов, которые своей топографией, охватом территории и эмиссией тепла, загрязнителей атмосферы и шумом создают городской климат, в свою очередь характеризующийся повышенными загрязненностью воздуха, шумами, облачностью, более высокой средней температурой и изменчивым направлением ветров.

Городской климат изменяется в непосредственной близости от зданий, в зависимости от их ориентации, размера и материала, из которого они построены. Вокруг всех зданий имеется климатологическая оболочка, создающая условия, которые могут быть лучше или хуже тех, которые являются господствующими в окружающем городском климате. Скорость ветра, например, может увеличиваться во много раз в климатологической оболочке, где воздушные потоки как бы собираются вместе у зданий, или ослабевают до нуля благодаря образованию вихрей в закрытых местах. Температура с подветренной стороны зданий может оказаться чрезвычайно высокой под действием солнечной радиации или отражения тепла.

Климатологическая оболочка является основной предпосылкой трансформации климата внутри и вне помещений, что достигается благодаря структуре здания и материалам, из которых сооружены здания. Затем появляется оборудование искусственного климата, которое позволяет усовершенствовать трансформацию климата, обеспечиваемую зданиями и создавать комфорт в отношении климата в помещениях.

НЕОБХОДИМОСТЬ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Очевидно, что метеорологические знания представляют собой большую ценность для тех, кто занят вопросами воздействия на физическую окружающую среду в нужном нам направлении. Если результатом исследований должно быть улучшение физической окружающей среды, то очевидно, что метеорологические знания должны быть приспособлены для удовлетворения специфических нужд строительной промышленности в данных на различных уровнях планирования. Это требует междисциплинарных исследований.

На региональном уровне исследования должны быть направлены на получение подробных данных о том, каким образом естественный климат изменяется благодаря воздействию промышленности, транспортных линий, аэропортов и т.д. и создание теоретических моделей механизмов рассеивания загрязнителей воздуха, воды и механизмов распространения шумов. Для того чтобы достичь эту цель, знания, касающиеся воздействия метеорологических факторов, должны сочетаться со знаниями о действии устройств, предназначенных уменьшить это рассеивание. В этой области метеорологические исследования, касающиеся вопроса распространения загрязнителей воздуха, позволили получить важную информацию. Это должно быть дополнено аналогичными расчетными методами, касающимися вопросов распространения шумов различных типов в сочетании с различного вида поглощающими шумы устройствами, такими как защитные пояса деревьев и кустарников.

На уровне городов исследования следует сконцентрировать на построении моделей процессов, благодаря которым город меняет региональный климат на городской. Это требует изучения следующих вопросов: каким образом топография оказывает влияние на направление и скорость ветра; каким образом мощеная поверхность и поглощающие тепло строительные материалы в городе усиливают поглощение радиации, что вместе с теплом, излучаемым самими зданиями, приводит к росту температуры города по сравнению с температурой сельской местности, окружающей город; каким образом мощеная поверхность ускоряет сток и вызывает неравномерность условий влажности; и каким образом эмиссия частиц и шумы усиливают загрязнение климата и способствуют усиленному росту ядер конденсации, вызывающих осадки, увеличению облачного покрова, ухудшению условий видимости.

В этой области следует расширить экспериментальные исследования. Изучение моделей в аэродинамической трубе, например, может значительно расширить наши знания, в особенности, если будут разработаны методы, с помощью которых в аэродинамической трубе можно было бы воспроизвести спектр турбулентности ветра и получить картину распределения температуры в

атмосфере. Эспериментальные исследования должны быть затем проверены путем сопоставления с результатами описательных исследований городского климата, которые уже имеются в настоящее время. Сравнивая экспериментальные и описательные данные можно будет создать модели, которые будут показывать результаты использования различных методов планирования городов, таких как относительное распределение площадей парков и мощеных поверхностей, установление расстояний между зданиями различной ориентации и высоты, размещение городского транспорта.

На строительном уровне исследования должны представлять основные данные для принятия мер по созданию приятного климата вокруг зданий, и обеспечению в результате этого минимального воздействия климата на здания. Это потребует изучения таких вопросов, каким образом размещение, ориентация и формы зданий влияют на климатологическую оболочку зданий. Климатическая оболочка подвергается в значительной степени влиянию, если, например, два здания расположены очень близко друг к другу и подавляют воздушные потоки, таким образом,что возникает поток большой скорости между зданиями. Размещение зданий в соответствии с рельефом страны также окажет влияние на температуру климатической оболочки. Например, если здания расположены длинной непрерывной террасой и разрезают холм параллельно его очертанию, то в этом случае здания как бы встречают поток нисходящего холодного воздуха и образуют скопление холодного воздуха со стороны, обращенной к вершине холма. В холодном климате это скажется на окружающем климате соответствующей стороны зданий с температурными условиями, которые ниже оптимальных. Если с другой стороны здание может быть ориентировано таким образом, что сторона, получающая наибольшее количество солнечного света также является надветренной стороной, окажется возможным создать чрезвычайно благоприятный климат для площадки игр. Форма зданий оказывает также влияние на ветер поблизости от них. Высокие здания, возвышающиеся над окружающими, являются как бы преградой для ветра и отклоняют ветер с большой высоты вниз до уровня улицы.

Условия климатологической оболочки также оказывают влияние на стоимость строительства зданий, их отопления, вентиляции и содержания, так как именно они определяют степень и характер воздействия климата, которому будет подвержено здание. Изменение характеристик ветра, например, может означать, что в данном месте ветер может быть очень сильным (рис.1).Ветер может также изменить направление дождя в сторону фасада, в направлениях, которые не смогли предвидеть,и соединения,имеющие отверстия, обращенные вниз, окажутся заполненными водой в результате попадания дождя, падающего на стену снизу вверх. Дождь и снег могут задуваться под крышу через вентиляционные отверстия на уровне карниза. Накопление снега на подветренной стороне крыши в значительной степени увеличивает нагрузку. Дым из труб может задуваться вниз вдоль стены здания, засасываться в отдушины для свежего воздуха,

загрязнять фасад. Это также относится к пыли, двуокиси серы и другим загрязнителям, которые могут сдуваться и собираться на фасадах и разрушать материал на поверхности.

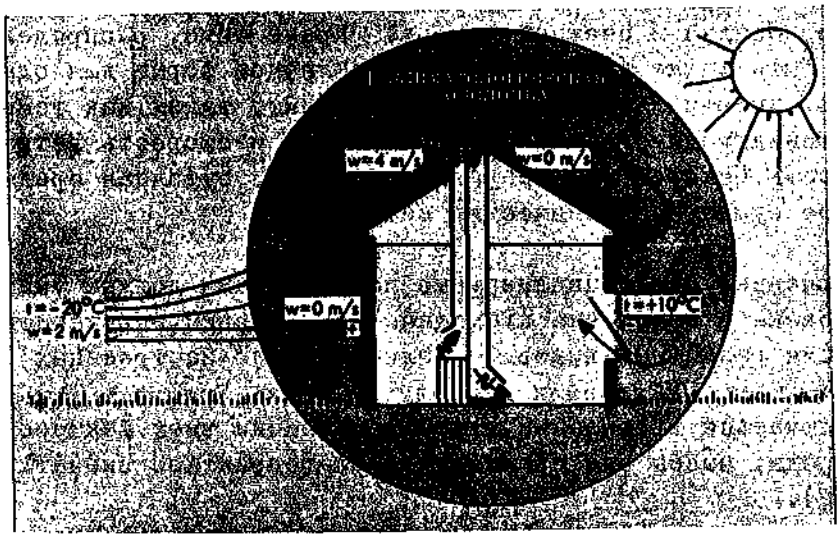


Рис. 1 — Пример того, как различные параметры макроклимата подвергаются изменениям в климатической оболочке, окружающей дом. Температура фасада, обращенного к солнцу с подветренной стороны, может быть значительно выше той, которая зарегистрирована уличным климатом. Скорость ветра в климатологической оболочке в значительной степени зависит от формы здания, и в различных местах может быть как выше, так и ниже скорости свободного ветра ; таким образом, вокруг дома возникает местный градиент давления, который может изменять направление воздушных потоков и, вызывать, например, реверс тяги в вентиляционных трубах.

На строительном уровне междисциплинарные исследования должны сосредоточиваться на построении моделей, описывающих то, как образуется климатологическая оболочка в результате взаимодействия метеорологических факторов и конструктивных решений, таких как размещение, ориентация, проект, конструкция и материалы здания и его установок. Такие модели могут быть созданы как в результате экспериментальных исследований в аэродинамической трубе, так и иметь форму математических функций. В обоих случаях исследования следует сосредоточить на получении данных, которые относятся к климатологической оболочке.

Это вызывает необходимость преобразования крупномасштабных климатологических данных в данные с масштабом, характерным для промежутков между зданиями, а также в представлении значений величин различных климатических факторов таким образом, чтобы их можно было использовать для целей конструирования. Совместные исследования в области метеорологии и

и строительства должны позволить создать модели для преобразований между климатическими данными различных масштабов и представить для различных уровней планирования климатические данные, которые обеспечивают для соответствующего масштаба наличие средних величин и распределение повторяемости отдельных факторов, таких как температура, солнечная радиация, облачность, влажность, ветер, осадки и снежный покров. Кроме того, распределение повторяемости должно быть также представлено в табличной форме для одновременных величин факторов, имеющих синергетический эффект, таких как температура и коэффициент смешения водяного пара, температура и скорость ветра, температура и облачность, скорость и направление ветра, суточная средняя температура и суточное суммарное количество осадков.

И в заключение, междисциплинарные исследования должны учитывать потребности человека в отношении климатических условий окружающей среды в ходе осуществления различных видов деятельности вне застроенных районов, в городах, а также в отдельных зданиях или вблизи от них. Задача регулирования климата должна заключаться в создании такой комбинации всех факторов окружающей климатической среды, чтобы она производила благоприятное впечатление на человека (рис. 2).

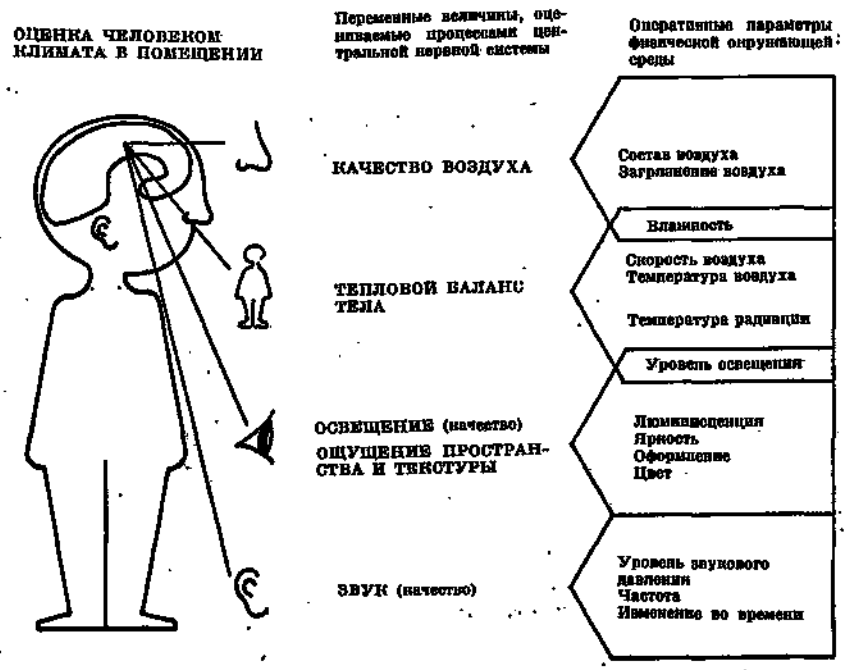


Рис. 2

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

Дж. Т. Питерсон

ВВЕДЕНИЕ

Применение метеорологии для планирования и разработки природных ресурсов связано с большим кругом вопросов. Среди них атмосфера является наиболее важной для поддержания жизни на Земле. Продуктивность сельского хозяйства особенно зависит от климата, включая осадки, засуху и мороз. Помимо этого климатологические консультации могут оказать важную помощь в успешной борьбе с вредителями и заболеваниями растений, во внедрении новой сельскохозяйственной практики и в уменьшении эрозии почвы и сохранении ее плодородия. Метеорологическая информация может быть также использована в лесоразработках и в предотвращении лесных пожаров и борьбе с ними. Преобразование солнечной радиации и энергии ветра в полезную энергию также непосредственно зависит от климата. Эти дополнительные источники энергии экономически могут соревноваться с обычными источниками при оптимальных климатических условиях. Создание многочисленных зон отдыха, например, для лыжного спорта или плавания и подводного плавания зависит от климата и топографии местности. Проведение пикников, экскурсий и прогулок на лодках зависит от своевременного и точного краткосрочного прогноза погоды. Наконец, искусственное загрязнение атмосферы и использование сельской местности под городское строительство, строительство шоссейных дорог и создание водохранилищ непосредственно влияет на экологические системы. Климатические изменения за счет деятельности такого рода могут привести к менее заметным экологическим изменениям.

АТМОСФЕРА

Наиболее важным источником жизни для человека является атмосфера; она не только поддерживает жизнь, но ее поведение в значительной степени определяет климат земного шара. Время от времени возникала опасность, что искусственное загрязнение атмосферы может повлиять на концентрацию кислорода. Однако последние точные измерения показали, что этого не произошло; в настоящее время концентрация кислорода (20,946%) по объему осталась в основном такой же, как и в начале этого столетия.

Хотя содержание кислорода в атмосфере осталось неизменным, ее состав изменился вследствие искусственных процессов, и эти изменения могут угрожать благосостоянию человека. При достаточных концентрациях атмосферные загрязнения могут принести вред и даже погубить растения и животных.

Зарегистрировано несколько случаев увеличения смертности населения, связанной с длительным пребыванием на территории высоких концентраций загрязнения. Растения также восприимчивы к некоторым загрязнителям и часто поступают сообщения о повреждении злаков. В этом отношении озон особенно токсичен. Кроме того, человек может воздействовать на климат путем загрязнения атмосферы в региональном или глобальном масштабе. Так как климат и особенно температура и количество осадков исторически ограничивали заселения и сельскохозяйственное производство, любые климатические изменения в большом масштабе, вероятно, будут иметь серьезные последствия. Эти темы и другие аспекты атмосферы как естественного источника обсуждаются более детально в других разделах этого тома.

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Для оценки и планирования наилучшего использования имеющихся земель для сельского хозяйства необходимы подробные знания климатологических условий. Многие проекты по использованию больших земельных угодий провалились из-за того, что не были учтены факторы физической окружающей среды, такие как взаимодействие между климатом, растительностью, почвой и водой. Примеры таких неудавшихся проектов включают попытки вырастить земляной орех в некоторых частях Восточной Африки, попытку ввести сельское хозяйство в некоторых районах долины Амазонки и попытки заново засадить лесом многие территории. Лучшая осведомленность населения и научные исследования возможного влияния на экологические системы при использовании земли увеличат в будущем значение климатологии при таком планировании.

В этом обсуждении сельскохозяйственного планирования следует различать развитые и развивающиеся страны. В первом случае фермеры приспосабливали сельскохозяйственные методы специально для своей земли, при этом довольно часто ошибаясь. В последнем этих ошибок можно избежать и эффективно использовать сельскохозяйственные ресурсы. Даже в высокоразвитых странах выращивание новых культур или расширение посевных площадей под существующие культуры требует правильной оценки климатического риска.

Некоторыми практическими решениями, связанными с влиянием погоды и климата на сельское хозяйство, являются выбор сельскохозяйственных культур и их разновидностей; определение климатически благоприятных периодов для посева, культивации и созревания; определение районов, где возможна обработка сухой земли и где необходимо орошение; планирование лесонасаждений и восстановления лесных массивов; необходимость контроля за вредителями и заболеваниями; нахождение оптимального диапазона климатических переменных для увеличения урожая и продукции вообще и определение потенциалов для использования земли в сельскохозяйственных целях. Хотя большинство таких

решений относится к продуктивному и экономному использованию земель, сельскохозяйственная практика, не приносящая ущерба окружающей среде, получает одобрение, так как значение сельского хозяйства общепризнано.

Проблемы, с которыми сталкиваются агрометеорологи, предусматривают использование долгосрочной климатологической информации,информации о последних метеорологических явлениях (последней недели, месяца или сезона) и обычному одно- или двухдневному прогнозу. В первом случае информация помогает определить климатологические диапазоны, в пределах которых следует работать; в двух последних она помогает принять быстрые оперативные решения. Однако даже тогда, когда известны все характеристики климата и они применяются для планирования использования земли для сельского хозяйства,требуются небольшие и микромасштабные исследования локальных климатических характеристик для более детального определения климатических потенциалов данной территории. В последующих параграфах обсуждаются некоторые аспекты применения метеорологии для сельского хозяйства, которые имеют особое значение для окружающей среды.

Системы орошения приносят выгоду не только в засушливых районах, но также и в районах, где имеется умеренное количество дождевых осадков, например,в северной Европе. Когда выпадает умеренное количество осадков, вода для систем орошений поступает главным образом из близлежащих рек или потоков, из буровых скважин или резервуаров на фермах. Количество воды, необходимое для любой данной схемы, должно быть известно заранее, должна использоваться климатическая статистика осадков и суммарного испарения для определения средних и экстремальных требований ирригации для большинства культур и почв. При помощи этой системы должна определяться возможность освоения новых земель, равно как и наиболее эффективное использование имеющихся водных ресурсов. Земли, которые подвергаются обильному орошению в течение многих лет,иногда теряют плодородие за счет накопления соли. При эффективном использовании климатологической информации уменьшается вероятность чрезмерного орошения.

На больших территориях земного шара засуха является очень серьезной проблемой. Часто планирование требует данных по областям, подвергающимся засухам и частоте их повторения для принятия своевременных мер. Благодаря непрерывному анализу текущих данных о дождевых осадках фермеры могут заранее знать о наступлении аномального периода небольшого количества дождевых осадков, даже если такие периоды наблюдаются раз в 20 лет. Применение климатологии особенно уместно при освоении полузасушливых районов, подвергающихся периодическим засухам. Если нет достаточного количества воды, и используемые схемы обработки земли неудовлетворительны, то при разработке такого района засушливость может еще более усугубиться.

Случайные заморозки летом значительно снижают урожаи многих культур. Для уменьшения вредных последствий заморозков необходимо подробное изучение их повторяемости и при консультации с садоводами можно определить вероятность продуктивного выращивания и сбора урожая различных культур. Что касается рассмотрения засушливых территорий, то возможная разработка областей, критических с точки зрения климата, особенно нуждается в такой консультации.

Разрушительное действие заморозков можно предотвратить различными методами. Разбрызганная на растения вода эффективно замедляет замерзание, ветровые машины разрушают поверхностную инверсию и опускают теплый воздух сверху, а искусственного нагревания можно достичь за счет горения топлива. В климатологических сводках дается определение вероятности и времени наступления заморозков и таким образом и времени, когда будет необходимо использовать технику борьбы с заморозками, тогда как точные краткосрочные прогнозы будут служить руководством к действию. Более того, детали микроклимата на всей засеянной территории помогут определить места, где должны быть сконцентрированы усилия для предотвращения заморозков.

Лесозащитные насаждения и лесозащитные полосы широко используются в сельском хозяйстве. Лесозащитные полосы влияют на окружающую среду путем воздействия на поток воздуха, тепло и водный баланс, эрозию почвы, химический состав почвы и воздуха и биологические условия. Особое значение пояса лесонасаждения заключается в эффективном уменьшении ветровой эрозии почвы.

Метеорология помогает предотвращать и бороться с паразитами и заболеваниями растений. Были проведены детальные исследования прогнозирования на основе метеорологических данных благоприятных условий для заболевания картофеля и заболеваний других растений и появления вредителей, возможного распространения японского жука в Европе, миграции пустынной саранчи, влияния погодных условий на появление яблоневой парши, повреждения растений от загрязнения воздуха, а также метеорологических факторов, влияющих на эпидемиологию пшеничной головни. Например, некоторые болезни имеют цикл, на который, безусловно, влияет погода, и можно заблаговременно точно определить степень угрозы. Поэтому при лучших знаниях ожидаемой естественной изменчивости вредителей и заболеваний растений можно более эффективно использовать пестициды и гербициды.

При разработке новой сельскохозяйственной практики можно извлечь большую пользу из применения надежных метеорологических данных, что и наблюдается в настоящее время в случае "зеленой революции". Уже выведены новые гибридные разновидности, которые увеличат урожай, но они чувствительны к погоде и их урожай, таким образом, зависит от приспособляемости к

местному климату. Определение климатических условий, включая прогноз возможного урожая,должно быть составной частью при выборе специальной разновидности для любой области.

Эрозия в большой степени зависит от правильной обработки земли, что в свою очередь зависит от эффективного использования водных ресурсов. На многих территориях земного шара некоторые области, которые раньше давали хороший урожай, в настоящее время не пригодны для использования. В некоторых областях такая потеря плодородия произошла в результате крупномасштабного изменения глобального климата, однако на многих территориях причиной этого является человек и домашние животные. Такая деятельность как вырубка леса, многократное использование земель под пастбища,использование подземных вод для орошения и другое неэффективное использование земли привело к потере плодородия почвы. Следовательно, когда разрушается и не восстанавливается растительный покров, почва подвержена и ветровой,и водной эрозии. К счастью разумное использование земли и имеющихся водных ресурсов, подкрепленное климатологическим данными, может предотвратить деградацию почвы и последующую эрозию.

Особая проблема эрозии возникает в тропиках, где вырубаются деревья на больших территориях влажного леса и делаются попытки культивировать эту почву. В результате вырубки деревьев большее количество солнечной радиации достигает земли и нагревает ее, что повышает температуру почвы до такого предела, при котором некоторые органические вещества и минералы теряют свою эффективность. Кроме того, сильный дождь, который непосредственно попадает на землю, может вызвать выщелачивание из почвы питательных веществ. Такое неправильное использование земли ведет к потере ее плодородия.

ЛЕСОНАСАЖДЕНИЕ

Рост населения земного шара увеличил потребность в природных ресурсах и земле. Существуют сторонники того, чтобы необработанные территории и дикая местность оставались в своем естественном состоянии или использовались как парки. Однако эти земли стремятся использовать и в коммерческих целях. Следует установить равновесие между этими разными точками зрения. Леса земного шара занимают в данном конфликте особое место: с одной стороны, их можно использовать для лесозаготовок, чтобы удовлетворить растущую потребность в жилищном строительстве и строительном материале, с другой стороны, их можно использовать как зоны отдыха. Правильное использование

лесных массивов, включая метеорологические соображения в рамках всеобщего планирования, необходимо для получения максимального количества строевого леса на данной территории в данное время.

Климатологические данные могут оказать помощь лесничим в различных вопросах, таких как определение лучшего времени года для посевов и созревания в течение вегетационного периода дерева, выбор территорий, подходящих для выгодной посадки деревьев, определении потенциального роста дерева и выборе соответствующих видов. Действительный рост дерева, конечно, сильно зависит от преобладающей погоды. Фактически, анализ данных колец деревьев часто использовался для изучения изменений климата в прошлом. Другой важной, связанной с этим темой исследований являются изменения водостока в результате лесозаготовительных операций и их возможное влияние на паводковые потоки.

Повышенный интерес к проблемам загрязнения воздуха привел к критическому пересмотру практики беспорядочного сожжения отходов лесозаготовок. На некоторых территориях небольшие ветки деревьев, кусты и сучья после лесозаготовок собираются и сжигаются, чтобы в будущем увеличить рост деревьев в лесу и уменьшить возможность лесного пожара. Иногда это приводит к обширному загрязнению воздуха. Недавно лесники северо-западной части Соединенных Штатов начали получать метеорологические руководства по дисперсии примесей в атмосфере. Когда существуют условия застоя воздушной массы, мероприятия по борьбе с пожарами откладываются до более благоприятных погодных условий.

Метеорологические прогнозы дают важную информацию для предотвращения лесных пожаров и борьбы с ними. Климатические наблюдения за последнее время могут помочь определить области и время года, когда существует наибольшая вероятность для возникновения пожара. На этих территориях можно заранее предпринять противопожарные меры. Когда наступают засушливые периоды, данные по осадкам и прогнозы могут служить руководством для ограниченного использования леса, например, запрещение разведения костров. Если пожар начался, его распространение, сила и развитие в основном будут зависеть от превалирующих условий погоды в особенности от ветра и осадков. Точный краткосрочный прогноз имеет решающее значение для эффективной борьбы с пожаром.

Перспективной областью исследования является применение активного воздействия на погоду во время угрозы возникновения пожара. Хотя многие пожары возникают вследствие неосторожности людей, все же большинство лесных пожаров возникает естественно, от ударов молний. В настоящее время разрабатывается метод подавления молнии при грозе путем засева облаков,

и если этот метод увенчается успехом, то будет получена огромная экономическая выгода. Ведутся также исследования засева при различных ситуациях определенных типов облаков для увеличения количества осадков; если это будет сделано, такие методы можно будет использовать для уменьшения сухости леса еще до начала пожара или ограничения и прекращения пожара.

ЭНЕРГИЯ

Солнечная радиация и ветер являются двумя природными источниками энергии. Но их использование ограничивается непосредственно климатом. Благодаря современному прогрессу в технике солнечная радиация может использоваться для таких целей, как пространственный нагрев и генерирование электрической энергии. С другой стороны, использование ветряных мельниц для перекачки воды имеет значительно более длительную историю. В северо-западной части Европы в конце XIX столетия работало много тысяч таких мельниц. Вероятно, общее количество вырабатываемой этими приспособлениями энергии сильно зависит от климатологических данных солнечной радиации и ветра для данной местности. Таким образом, до их установления климатологический анализ может помочь в выборе местоположения с максимальным возможным выходом энергии.

За последние годы были разработаны и усовершенствованы приспособления, которые превращают солнечную радиацию в другие формы используемой энергии. Одним из возможных использований этой энергии является пространственный нагрев, приготовление пищи, кондиционирование воздуха, генерирование электроэнергии и дистилляция свежей воды. В некоторых областях, которые ежегодно получают много лучистой энергии Солнца, солнечная энергия экономически вполне может конкурировать с другими обычными источниками энергии.

Экономика использования солнечной энергии зависит от количества падающей солнечной радиации. Это в свою очередь зависит от большого количества неметеорологических факторов, включая время дня и года, широты и возвышение местности, а также от метеорологических факторов, среди которых наибольшее значение имеет количество облачности и тип образования облачности. Меньшее значение имеют количество водяного пара и дымка в атмосфере.

При рассмотрении возможного использования приборов, преобразующих солнечную энергию, должно быть установлено количество солнечной радиации в данном месте по крайней мере двумя возможными путями - с помощью вычислений или наблюдений. При известных неметеорологических данных, упомянутых выше, можно легко вычислить падающую солнечную радиацию для ясной, сухой атмосферы. Включением статистики в климатологию облаков, полученную при

помощи обычных наземных, либо спутниковых наблюдений, и содержания водяного пара в атмосфере можно получить надежную оценку действительной падающей солнечной радиации. Другим подходом может быть оценка падающей радиации по данным прошлых наблюдений в близлежащей местности. ВМО координирует глобальную сеть, состоящую из более 500 станций, на которых страны-Члены проводят измерения солнечной радиации. На других 1 600 станциях ведется регистрация продолжительности инсоляции. На основании этих данных можно достаточно точно определить падающую солнечную радиацию почти в любой местности. При наличии дополнительных данных о локальных метеорологических условиях точность оценки может быть повышена.

Применение метеорологии при рассмотрении возможности создания ветровых энергетических установок прежде всего предусматривает определение места с наибольшим энергетическим потенциалом. Ветер в приземном слое испытывает значительные вариации, которые зависят от топографии неровности поверхности, высоты над уровнем земли и других метеорологических факторов. Как правило, для приземных 100 м атмосферы, когда температура воздуха адиабатически уменьшается с высотой над относительно однородной ровной поверхностью земли, скорость ветра увеличивается как функция логарифма высоты. Однако когда температура воздуха увеличивается с высотой, как это часто бывает ночью, изменение скорости ветра с высотой может быть значительно больше. В местах, где часто происходит инверсия на уровне земли, каждое дополнительное увеличение высоты генератора энергии ветра дает значительное увеличение выхода энергии.

Вариации неровности земной поверхности также влияют на скорость приземного ветра. Неровная поверхность (деревья и здания) в отличие от ровной (стриженая трава или голая земля) уменьшает скорость не только приземного ветра, но и ветра на большей высоте в атмосфере.

Вершины холмов считаются лучшим местом размещения ветровых энергетических установок, так как здесь ветер имеет бóльшую скорость. Делались даже попытки определить факторы увеличения скорости, чтобы найти связь между скоростью ветра на вершине холма и у его подножия или со скоростью на соответствующей высоте в свободной атмосфере. Однако,это имело лишь ограниченный успех вследствие большой зависимости скорости ветра на вершине холма от характеристик местной топографии и превалирующих метеорологических условий.

Черты локальной топографии часто оказывают сильное влияние на скорость ветра. Суточный цикл морского бриза, который является результатом разницы температуры воды и прилегающей суши, имеет самое большое значение. Морской бриз обычно имеет наибольшую скорость в послеполуденное время, когда разница температур достигает наибольшей величины. Однако на

умеренных широтах это не оказывает большого влияния на средние скорости ветра. С точки зрения генерирования энергии это имеет самое большое значение в сухих субтропиках вдоль западного побережья континентов, где скорости ветра так или иначе невелики. В долинах ветер также имеет суточную вариацию, вызванную горизонтальной неоднородностью температур. В течение дня этот локальный ветер направлен вверх по склону, ночью он имеет обратное направление. Несмотря на этот локальный ветер, долина - неподходящее место для создания ветровых энергетических установок. Средняя скорость ветра в долине меньше, чем на близлежащей возвышенности.

ЗОНЫ ОТДЫХА

Для развития возможностей для отдыха часто используются преимущества природного климата в той или иной местности. С давних пор популярны катание на лыжах в Альпах и солнечные ванны, и купание на пляжах Средиземноморья на юге Франции. В настоящее время в связи с ростом населения земного шара и расширением городов климатически критические области считаются курортными территориями. Например, лыжные курорты недавно были построены на южном склоне Аппалачских гор в восточной части Соединенных Штатов; они могут функционировать только при создании искусственного снежного покрова. Таким образом, климатический потенциал становится важным моментом в общем планировании территорий для целей отдыха. Для зимнего спорта желательно оптимальное сочетание снега, температуры и ветра. Аналогично дождь, температура и количество солнечных дней являются важными чертами в планировании летних зон отдыха.

Проведение отпуска семьи часто определяется климатическими факторами. Американцы часто на лето едут в Европу, когда этому благоприятствует погода. Отпускники предпочитают холодные северные озера летом и теплое южное побережье зимой. При долгосрочном планировании специальных мероприятий можно также использовать прикладную климатологию. Например, зимние Олимпийские игры, которые проводились в Осло в 1952 году, могли пройти в любую декаду января и февраля. Климатологи определили,какая декада наиболее вероятно будет иметь оптимальные количества снега и температуру. Даты концертов и театральных представлений на открытом воздухе часто выбираются из нескольких возможных дат согласно климатологической информации о температуре, вероятности осадков и т.д. Популяризаторы туризма очень хорошо осведомлены о климатических изменениях и часто рекламируют область описанием ее здорового, бодрящего или приятного климата.

После того, как мероприятия запланированы и разработаны,метеорологические службы предоставляют соответствующую информацию о многих организованных спортивных мероприятиях, которые используют природные ресурсы,

зависят от погоды и должны откладываться, если погода не благоприятствует их проведению. Такие мероприятия, как парусный спорт и соревнования на моторных лодках, водные лыжи и катание на лыжах по снегу, катание на коньках, зависят от капризов погоды. При подготовке этих мероприятий участникам и зрителям нужно использовать краткосрочный прогноз. Такой прогноз полезен для населения при планировании мероприятий на свежем воздухе. Лучше отменить пикник, экскурсию, купание и т.д. до выхода из дома, нежели эти мероприятия будут прерваны плохой погодой. Катание на маленьких лодках быстро завоевывает популярность и требует точного и своевременного прогноза, так как оно особенно чувствительно к внезапно изменившемуся ветру. Соответствующее предупреждение о грозе и шквале имеет жизненное значение для безопасности участников.

Плохая погода может не только испортить отпуск, но также и причинить значительный экономический ущерб владельцам курортов. Кроме того, профессиональные спортивные команды и устроители концертов на открытых площадках терпят материальный ущерб, когда мероприятия отменяются или переносятся, а стоимость билетов возмещается. Население на побережье и владельцы курортов также терпят убытки во время холодной дождливой погоды в конце недели. Хотя высокогорные курорты зависят от наличия снежного покрова, плохие дороги резко уменьшают приток отдыхающих.

ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА НА ПРИРОДНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Рост населения земного шара, увеличение промышленной продукции, потребление товаров и услуг увеличили возможности человека непроизвольно изменять климат. Вследствие зависимости растений и животных от климата, человек может влиять на экологические системы от самых маленьких размеров до глобальных масштабов. Атмосфера дает кислород, углекислый газ и влагу - все, что в сочетании с солнечной радиацией необходимо для роста всего живого. Более того, каждое растение приспосабливается к определенному климату; границы произрастания каждого растения часто совпадают с определенными климатическими границами. Сильные естественные климатические изменения в прошлом сопровождались экологическими изменениями. Например, центральной проблемой анализа пыльцы являются временные изменения в растениях, произрастающих на данной площади; эти изменения непосредственно коррелируются с прошлой климатической информацией. Человек преобразует землю на земном шаре от лесов и лугов до городов, полей или акваторий. Такие изменения локальных характеристик поверхности привели к изменению метеорологических условий. В настоящее время существует мнение, что человек может воздействовать на климат в большем масштабе, включая и глобальный. Более того, исследуется возможное влияние этих климатических изменений на экологические системы.

В Соединенных Штатах ежегодно около 400000 гектаров земли, занятой под сельское хозяйство, переходит под строительство городов, аэропортов, шоссейных дорог и водохранилищ. В Англии и Уэльсе в настоящее время застроено 12% земли. Новые гибридные культуры, орошение и другая усовершенствованная практика дали возможность культивировать земли, критические с точки зрения климатологии. Все изменения в использовании земли привели к локальным изменениям климата, но экологические последствия этих и других климатических изменений еще далеко не известны. Например, могут ли эти изменения привести к вспышке заболевания растений и животных или к появлению вредных насекомых? Создадут ли изменения климата более благоприятные условия для некоторых нужных видов растений или животных, или они приведут к распространению сорняков в новых областях? Если намеренно или непреднамеренно искусственным путем будет увеличено количество осадков в полузасушливых областях, увеличит ли это эрозию или большее количество растительности уменьшит эрозию? Метеорологам вместе с другими специалистами придется решать эти и аналогичные проблемы.

Основным энергетическим источником экосистемы является солнечная радиация, которая зависит от широты, времени дня и года, характеристик земной поверхности и состояния атмосферы. Таким образом, среди всех атмосферных процессов, важных для экосистемы, основными и оказывающими непосредственное влияние, являются процессы, связанные с модификацией солнечной радиации либо когда она проходит через земную атмосферу, либо на поверхности Земли. Некоторые изменения в использовании земли, которые влияют на преобразование солнечной радиации, включают изменение поверхностного отражения (альбедо), теплоемкость и теплопроводность и наличие воды. Например, низкое альбедо увеличивает поглощение солнечной энергии и повышает температуру воздуха, в то время как сокращение количества воды уменьшает испарение, что также ведет к повышению температуры.

Одной из практических проблем сегодняшнего дня в отношении правильного использования и разработки земли является превращение в пустыню или потеря плодородия полузасушливых или засушливых областей. В некоторых таких областях потребность в воде для расширенного сельскохозяйственного производства, необходимого для обеспечения продуктами питания растущего населения, непрерывно возрастает и превышает количество природных осадков. Источником воды для орошения являются грунтовые воды, и вследствие их избыточного потребления нарушается региональный водный баланс. Запасы грунтовой воды, которые образовались в течение последнего ледникового периода, истощаются быстрее, чем пополняются. Вместе с ростом сельского хозяйства увеличивается поголовье скота, что приводит к оскудению растительности на пастбищах. Сочетание этих двух факторов приводит к значительному

изменению поверхностной растительности. Уменьшение растительного покрова в свою очередь создает предпосылки к большой ветровой эрозии верхнего слоя почвы, что приводит к дальнейшей потере плодородия. Переносимая ветром пыль увеличивает содержание частиц в атмосфере, которые как часть глобального загрязнения воздуха могут быть сами по себе причиной изменения климата.

Человек строит плотины для запруживания воды и создания озер. Самые большие водоемы такого рода превышают 100 км в длину и оказывают большое влияние на климат вблизи берегов. Например, максимальные высокие и низкие температуры меняются под влиянием воды, особенно с подветренной стороны. Измененный климат влияет на растительность; насколько сильно это влияние - еще до конца не известно, но это также зависит от других местных условий, таких как топография. Хотя общее число искусственных озер на земном шаре велико, и они влияют на местный климат, но их влияние еще недостаточно, чтобы изменить климат в глобальном масштабе. Другими примерами практического использования водных ресурсов, которые влияют на локальный климат и таким образом на экологические системы, являются орошение и регулирование стока реки.

Предлагались грандиозные проекты изменения поверхности Земли, такие как создание дамбы через Берингов пролив или реку Конго, что привело бы к крупномасштабному изменению климата и экологии. Дамба через Берингов пролив освободит от льда Северный Ледовитый океан, а дамба в низовье реки Конго создаст огромное озеро в несколько миллионов гектаров. Изучение возможных экологических эффектов от таких проектов, вероятно, должно предшествовать их рассмотрению.

Другим примером воздействия на землю, которое привело к климатическому и экологическому изменениям, является развитие крупных городских поселений. Одной из характеристик климата города является повышенный нагрев в основном в ночное время, который образуется в основном за счет тепла, высвобождаемого при сгорании топлива, генерировании энергии, автомобильного движения и т.д. Большинство городов имеют среднюю температуру на 1°С выше по сравнению с пригородом, но в отдельных случаях разность температуры составляет 10°С. Климатически более теплая атмосфера над городом дает в результате удлинение сезона роста растений, сокращение числа морозных дней, уменьшение количества выпадающего снега, что все вместе влияет на местную растительность. При континентальном климате центральной части США годовое изменение средней температуры на 1°С соответствует сдвигу с севера на юг приблизительно на 100 км. В западной Европе, учитывая влияние моря, соответствующий сдвиг значительно больше. В будущем вследствие разрастания и слияния городов они будут оказывать возрастающее климатическое влияние на экологические системы.

Загрязнители атмосферы оказывают непосредственное токсическое влияние на многие растения и животных, и они также могут оказывать влияние на экологические системы через их влияние на климат как в большом, так и в малом масштабе. Взвешенные частицы, выброшенные в атмосферу, уменьшают количество солнечной радиации, проходящей через нее. В больших городах со значительными источниками загрязнения количество получаемой солнечной энергии уменьшается на 10-15%. Более того, относительно высокая часть этой потери солнечной радиации приходится на коротковолновое излучение. Помимо этого атмосферные частицы могут служить ядрообразующими агентами и либо увеличивать количество осадков, либо создавать избыточное засеивание облаков и тем самым препятствовать выпадению осадков. Некоторые данные свидетельствуют о том, что концентрации частиц увеличились в некоторых областях в результате деятельности человека, но такие увеличения еще не измерялись в отдаленных частях земного шара, например, в центральной части Тихого океана.

С середины прошлого столетия фоновая концентрация углекислого газа увеличилась приблизительно на 10% вследствие сгорания ископаемого топлива. Количество содержания CO_2 в атмосфере имеет непосредственное влияние на климат, позволяя солнечной радиации проходить сквозь атмосферу, поглощая и испуская заново энергию инфракрасного излучения Земли. Точные оценки концентраций CO_2 в будущем предполагают дополнительное увеличение (20% на 2000 г.) и соответствующее среднее глобальное потепление нижних слоев атмосферы приблизительно на 0,5°С. Хотя подобное изменение, вероятно, будет иметь значительное влияние на некоторые экосистемы, в этой области проведено очень мало исследований.

Большое количество загрязнений атмосферы удаляется путем вымывания осадками. Удаление SO_2 имеет особое значение для экологии. Газообразный SO_2 окисляется в атмосфере до SO_3 и захватывается водяными каплями, понижая pH осадков. Источники SO_2 с подветренной стороны и кислотный дождь могут влиять на кислотность почв и озер. Некоторые озера в Скандинавии были закрыты для населения вследствие высокой кислотности. С другой стороны, для некоторых щелочных почв кислотные осадки могут быть полезными. Современные исследования направлены на выяснение как причин высокой кислотности, так и на экологические последствия этого.

Существует много данных о возможности влияния человека на климат, в особенности на водный баланс, путем прямого и преднамеренного вмешательства. Увеличение осадков за счет засева облаков является предметом непрерывного исследования, и сообщалось о нескольких случаях получения от этого

экономической выгоды. Одним из примеров является увеличение величины снежного покрова и последующего весеннего стока воды в Скалистых Горах Колорадо (США). Определялись также соответствующие экологические изменения, последовавшие за подобным воздействием на погоду, которые довольно трудно обосновать. Общая проблема эффектов окружающей среды при воздействии на климат является темой отдельной статьи этого тома, написанной Нейбергером.

ПРЕВРАЩЕНИЕ В ПУСТЫНЮ : ЕСТЕСТВЕННЫЕ ПРИЧИНЫ ИЛИ РЕЗУЛЬТАТ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ?

Х. Флон

Во многих засушливых и полузасушливых странах увеличивающееся потребление воды привело к постепенному истощению ресурсов грунтовых вод в локальном и региональном масштабах. Если это истощение будет продолжаться и далее в течение 20 лет или более, то может нарушиться региональный водный баланс. Более того, неконтролируемое увеличение поголовья домашнего скота может уничтожить скудный растительный покров на больших территориях. По сравнению с областями, где сохраняется природная растительность (например, в областях размещения военных подразделений), уменьшение растительного покрова разительно. Существующие аспекты, связанные с областями полупустыни вне защищаемых районов, сильно отличаются от проблем сухих степей внутри этих районов.

Примером такого рода могут служить исследования, проведенные в оазисах южного Туниса (Флон, 1970 г.).

Уравнение водного баланса имеет вид:

$$P = ET + R + \Delta W, \qquad (1)$$

где P – осадки; ET – действительное испарение почвы и транспирация с растительности; R – сток; ΔW – временное изменение общего содержания грунтовой воды.

Если не учитывать локальные и краткосрочные флуктуации за счет отдельных периодов дождей, это уравнение можно упростить. В южном Тунисе на площади около 35 000 км^2 с внутренним дренажем не следует принимать во внимание поверхностный сток (R=0), поэтому

$$\Delta W = P - ET. \qquad (2)$$

В этом случае большие временные флуктуации P и меньшие изменения ET контролируют повышающийся или уменьшающийся уровень воды (W). Любая правильная оценка P должна основываться на достаточно однородных измерениях дождевых осадков, осредненных по площади, которые, в свою очередь, должны быть тщательно проверены для уменьшения локальных эффектов и приборных ошибок. Для орошаемых территорий можно дать надежную оценку водоснабжения WS и ET =WS+P. На засушливой территории с внутренним дренажем, где R =0,ET лимитируется P и флуктуациями W. Если на засушливой территории WS выводится только по данным резервуара грунтовой воды W , то любой дисбаланс

между ET и P должен отражаться на ΔW.

Для южного Туниса на основании наблюдений, проводимых с начала этого столетия, была получена осредненная по площади оценка P по данным регистрации десяти станций. Среднее количество дождевых осадков для сельскохозяйственного года (сентябрь-август) составляет 151 мм при стандартном отклонении 45 мм; экстремальные величины изменяются между 52 мм (1935/36 гг.) и 294 мм (1969/70 гг.), а средние величины за 10 лет изменяются лишь в диапазоне 127-165 мм и не имеют определенной тенденции. С точки зрения климатолога P остается почти постоянной (рис. 1).

Измерения потенциального суммарного испарения ETP подвергаются значительным приборным ошибкам. На измерения при помощи лизиметров и испарителей влияет адвекция в окружающей среде, которая создает так называемый "эффект оазиса", т.е. адвекция горячего воздуха окружающей пустыни добавляется к имеющейся суммарной радиации Q. На рис. 2 приведены два примера данных измерений с помощью лизиметра в южном Тунисе; одни измерения проводились вблизи центра хорошо обводняемого берегового оазиса (Gabès), другие - на границе совсем небольшого оазиса в центре Сахары. Достоверные оценки Q были сделаны при помощи эмпирических формул, которые были предложены Альбрехтом, Будыко, Пенманом и др., и в которых использовались величины поверхностного отражения (альбедо a_s). Так как средние годовые значения теплового потока на почву (F_S) равны нулю, уравнение теплового баланса на поверхности можно записать в следующем виде:

$$Q = F_A\uparrow + L \cdot ET, \qquad (3)$$

где $F_A\uparrow$ - восходящий поток теплосодержания и L - тепло, затраченное на испарение. Во многих случаях если F_A направлен вниз (т.е. отрицателен), тогда уравнение теплового баланса имеет вид:

$$L \cdot ET = Q + F_A\downarrow, \qquad (4)$$

и тогда энергия, затраченная на испарение, больше суммарной радиации. Средние значения для оазисов Туниса приведены в табл. I, равно как и величины для каждого влажного (Douz) и относительно сухого оазиса (El Hamma) и полупустыни; ET является суммой водоснабжения для орошения (WS) и осадков P. Этот расчет позволяет получить достоверное значение доли энергии за счет $F_A\downarrow$ (эффект оазиса). Чрезвычайно высокие величины L·ET в нескольких оазисах вызваны интенсивным садоводством трех видов: выращивание овощей, небольших фруктовых деревьев и финиковых пальм. Следует избегать потери воды из-за неэкономного расходования.

ТАБЛИЦА I

ТЕПЛОВОЙ И ВОДНЫЙ БАЛАНС ОАЗИСОВ

	Область км²	Альбедо A_s	Q (ланглей/дек.)	F_s (ланглей/дек.)	$F_A\uparrow$ (ланглей/дек.)	$F_v = L \cdot ET$ (ланглей/дек.)	ET (см/год)	P (см/год)	
Тунис									
Средняя для оазисов	150	0,15	200	0	- 72	272	168	15	Год
Douz	0,63	0,15	212	0	-360	575	354	8	Год
El Hamma	11,6	0,15	192	0	+ 40	152	94	16	Год
Полупустыни	35 000	0,20	158	0	+134	24	15	15	Год
Средняя Азия							(мм/дек.)		
Кзыл-Орда	0,45	0,19	350	40	- 75	385	6,4	?	Рис, Июль Август
Чуиска	0,13	0,20	377	41	-110	446	7,4	?	Сахарная свекла, Июль Август
Ташкент	0,80	0,17	390	60	+ 13	317	5,3	?	Картофель, Июль Август

Для сравнения приводятся летние результаты исследований Айзенштата (1966 г.) для хорошо механизированных орошаемых территорий Советского Туркестана, где были тщательно измерены все составные части теплового баланса. В течение лета в почве накапливается тепло, и таким образом $F_s\downarrow$ – положителен и содержит около 15% Q; тем не менее, в двух случаях $L \cdot ET$ больше Q за счет адвекции ($F_A\uparrow < 0$).

Вследствие нерегулярного колебания дождевых осадков уровень грунтовой воды изменяется с $\Delta W \neq 0$. Если, как это имеет место в южном Тунисе, используется артезианская вода из глубоких водоносных слоев, краткосрочные флуктуации невелики. Однако постепенное уменьшение запаса воды артезианского колодца и непрерывное понижение уровней открытых каналов в классическом оазисе Сахары указывают на то, что средние значения ET превышают P. Вдоль северной границы Сахары от Египта до Марокко основной запас грунтовой воды, безусловно, не находится в равновесии с существующими климатическими условиями. Изотопные исследования (Кнетш и др. 1963 г.) показали,

что возраст подземных вод составлял от 20 000 до 25 000 лет; она накапливалась со времени последнего вюрмского ледникового периода, когда западные циклоны и верхние барические впадины проникали значительно глубже в Сахару, взаимодействуя с возмущениями тропического происхождения, действующими на низких высотах.

Сельскохозяйственная статистика, приведенная в трудах по географии (Деспуа, 1966 г.; Меншинг, 1968 г.) свидительствует о том, что с 1880 г. сельскохозяйственная продукция оазисов увеличилась по крайней мере на 50%. В группе оазисов **Nefzaoua** число облагаемых налогом (высококачественных) финиковых пальм увеличилось с 160 000 до 800 000 и с 1947 г. было вырыто 84% из существующих артезианских колодцев. Расширение за последнее время орошаемых территорий по крайней мере на 2 200 га в оазисах **Gafsa, Tozeur** и **Nefta** безвозвратно увеличило потребление имеющихся водных ресурсов. Консервативная оценка увеличения осредненных по площади величин ET дает минимальную величину от 2,5 до 3 мм в год (около 2% годового количества дождевых осадков осредненных по площади) на площади около 35 000 км^2. Предполагая, что содержание воды водоносного слоя составляет 5%, это эквивалентно понижению уровня подземных вод на 1 м за 20 лет.

Попытка удовлетворить насущные нужды населения, годовой рост которого составляет 2,7%, привела к использованию ископаемых водных ресурсов, которые при существующих климатических условиях не могут быть восполнены. Поэтому рано или поздно эти запасы будут полностью истощены, хотя в будущем опреснение воды океана может несколько облегчить положение, но это сильно увеличит ее стоимость. Нельзя ждать следующего ледникового периода; создание ледниковых шапок потребует по меньшей мере 1000 лет и влияние их на климат все еще обсуждается специалистами.

В Советской Центральной Азии при орошении огромных территорий не используют ископаемую воду, а используют ее избыток за счет запасов в горах. Но увеличение испарения дает в результате уменьшение стока, что влечет за собой быстрое обмеление Аральского моря и других озер на этих огромных территориях с внутренним дренажем.

На испарение природных и искусственных озер на засушливой территории также сильное влияние оказывает эффект оазиса. Озеро Насера расположено в центре района максимальной сухости, где поступающая радиация и суммарная радиация Q достигают глобального максимума. Испарение ($ET > Q$) достигает почти 290 см/год (Омар и Эль-Бакри, 1970 г.) или при меньшем приведении около 320 см/год, что эквивалентно 17-19% годового стока в Асуане. Здесь использование воды действительно достигло критической точки, так как колебания из года в год R меньше годовых потерь.

МЕТЕОРОЛОГИЯ, ПОСЕЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА И ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Во многих местах земного шара возрастающие потребности в воде за счет роста населения и расширения экономики находятся в противоречии с имеющимися ресурсами. При современных условиях хорошо известная проблема Мальтуса - разница между экспоненциальным ростом населения и линейным ростом сельскохозяйственной продукции - затмевается более тяжелой проблемой пресной воды, которая заключается в экспоненциально возрастающем потреблении воды и фактически постоянных ее континентальных ресурсах. Усовершенствованный контроль за потреблением воды является одной из важнейших задач будущего; дальновидный и эффективный контроль должен принимать во внимание не только насущные нужды сегодняшнего дня, но также предвидеть все последствия в будущем. До начала работ над любым новым большим проектом необходимо сделать критический обзор всех составляющих водного баланса. Достижения, которые кажутся выгодными, могут стать разрушительными спустя короткое время. Более того, уничтожение растительности за счет разведения домашнего скота ведет к увеличению пылевых бурь, особенно на лессовых территориях, где от 10 до 30% (по весу) почвы состоят из частиц размером менее 2 микрон. Пылевые бури являются одним из основных источников регионального и даже глобального загрязнения воздуха. Другим мощным источником загрязнения является ежегодное горение травы в течение сухих сезонов в полувлажном тропическом климате. В соответствии с недавними оценками каждый из этих источников высвобождает в тропосферу больше частиц, чем промышленные предприятия вместе с продуктами сгорания в городах, вклад которых в загрязнение составляет не более 15-20% общего количества.

Все эти проблемы являются реальными и их актуальность увеличивается из года в год параллельно с ростом населения. Физическая климатология наряду с экспериментами по моделированию создает методы для решения таких проблем (Флон, 1970 г.). Рано или поздно многим метеорологам придется столкнуться с этими проблемами; они должны консультировать политических деятелей, экономистов и инженеров о внутренних взаимосвязях между климатом, водой, почвой и растительностью и об опасности безрассудного вмешательства человека в эти хорошо сбалансированные системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Flohn, H. (with the assistance of M. Ketata), (1970a): Etude des conditions climatiques de l'avance du désert. Publication préliminaire, Tunis. 17 pp.

2. Ditto. (To be published by WMO as Technical Note No. 116 – WMO No. 279.TP.157.)

3. Despois, J. (1966): La Tunisie: ses régions, Paris, Coll. A. Colin. N° 357.

4. Mensching, H. (1968): Tunesien, eine geographische Landeskunde. Darmstadt.

5. Knetsch, G. *et al.* (1963): Untersuchungen an Grundwässern der Ost. Sahara, Geologische Rundschau, 52, pp. 587-650.

6. Aizenshtat, B. A. (1966): Isslidovaniia teplovogo balansa Sredneĭ Azii. In M. I. Budyko, Sovremennye Problemy Klimatologii, Leningrad, Gidrometeoizdat, pp. 94-129.

7. Omar, M. H. and El-Bakry, M. M. (1970): Estimation of evaporation from Lake Nasser. Meteor. Dept. Cairo, Meteor. Research Bull. Vol. 2, No. 1, pp. 1-26.

8. Flohn, H. (1970b): Climatology – Descriptive or physical science? WMO Bulletin, Vol. XIX, No. 4, pp. 223-229.

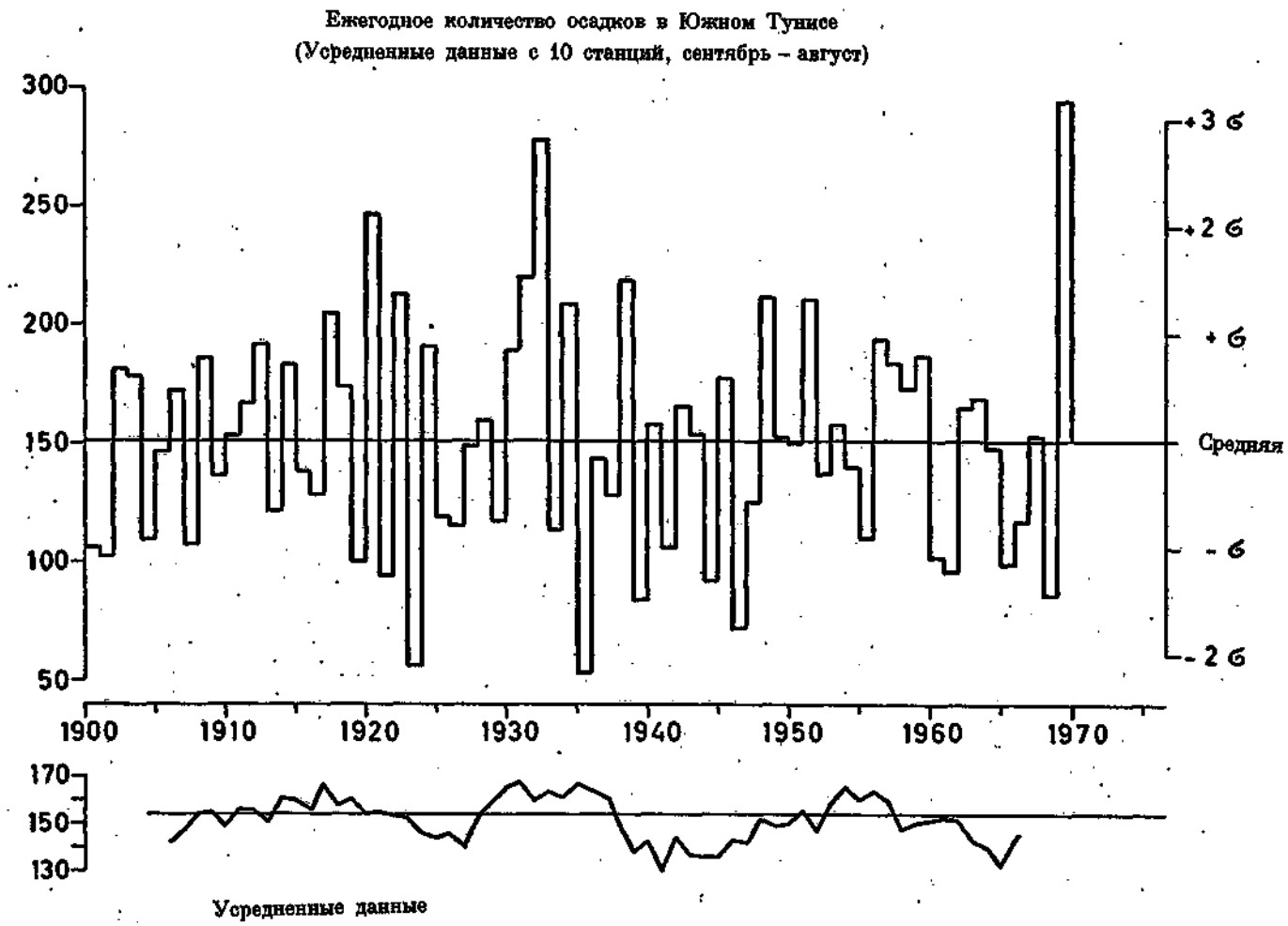

Ежегодное количество осадков в Южном Тунисе
(Усредненные данные с 10 станций, сентябрь – август)
300
250
200
150
100
50
+3 σ
+2 σ
+ σ
Средняя
- σ
-2 σ
1900
1910
1920
1930
1940
1950
1960
1970
170
150
130
Усредненные данные

Рис. 1

Дождевые осадки и потенциальное суммарное испарение, южный Тунис

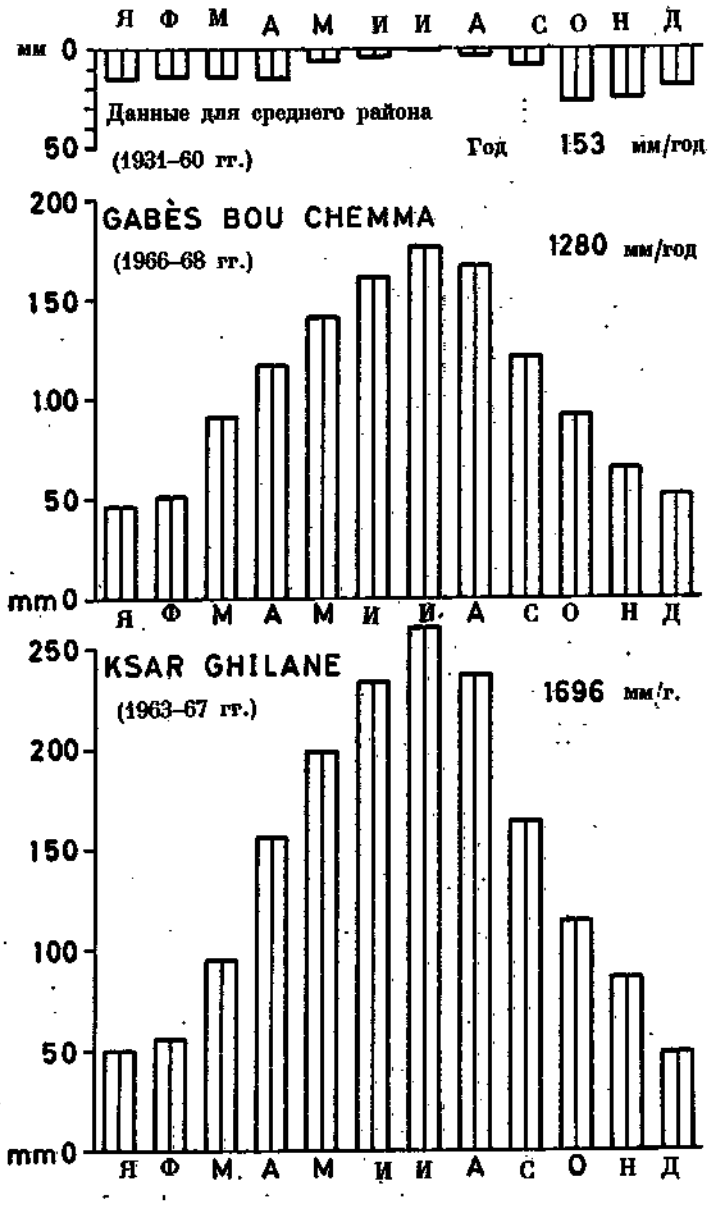


Рис. 2

МЕТЕОРОЛОГИЯ И СТИХИЙНЫЕ БЕДСТВИЯ

Представлен Секретариатом ВМО

ВВЕДЕНИЕ

История цивилизации часто рассматривается как история попыток человека подчинить себе окружающую его среду. Приспособление к метеорологическим явлениям, таким как ветер, дождь, тепло и холод, безусловно, является характерным даже для наиболее примитивных культур. Более того, развитие цивилизации скорее изменило формы зависимости человека от причуд погоды, чем устранило эту зависимость. В результате этого, современные народы оказались перед необходимостью содержать обширные службы погоды, с тем чтобы оказывать помощь населению и экономике в тех областях, которые чувствительны к воздействию погоды. Чем более развитой является страна, тем больше в целом ее служба погоды и разнообразие видов обслуживания, которые она предоставляет своим гражданам. Развитие национальной службы погоды идет в некоторой степени параллельно с развитием страны.

Не требуется долгих размышлений для признания того влияния, которое оказывают повседневные изменения погоды как на личную жизнь каждого человека, так и на экономику. Незначительные личные неудобства, возникающие в связи с нежелательными условиями погоды, затрагивают всех нас. Временами, однако, повседневные изменения погоды приобретают более резкий характер и в некоторых случаях приводят к таким ситуациям, которые можно классифицировать только как стихийные бедствия.* Такие ситуации возникают при экстремальных величинах скоростей ветра, экстремальных осадках и экстремальных температурах или при любой их комбинации. Кроме того, сильные ветры над океанами могут вызвать штормовые нагоны, при которых морская вода затопляет прилегающие береговые районы, часто принося более значительные опустошения, чем сам ветер. Аналогичным образом экстремальные дождевые осадки могут привести к разрушительным наводнениям.

Вообще, любой шторм или наводнение, выходящие за пределы, предусмотренные местной системой мероприятий, могут стать бедствием. В районах с

---

* В настоящем докладе рассматриваются только стихийные бедствия метеорологического происхождения. Статистика показывает, что на бедствия, относящиеся к этой категории, приходится более 70% человеческих жертв и имущественного ущерба, связанных со всеми стихийными бедствиями вместе взятыми, а остальные приходятся на такие явления, как землетрясения, вулканические извержения, цунами и т.д.

развитой экономикой стихийное бедствие может проявиться главным образом в нанесении экономического ущерба, поскольку информированное население может защититься достаточно эффективно против всех стихийных бедствий помимо тех, которые имеют наиболее жестокую форму.

С другой стороны, население многих развивающихся стран в этом отношении исключительно уязвимо ввиду недостаточности средств для штормовых предупреждений или неудовлетворительной национальной системы мероприятий по защите от стихийных бедствий, или в результате того и другого. Жестокие штормы или наводнения могут в таких случаях становиться национальным бедствием большого масштаба, сопровождающимся большим числом человеческих жертв, разрушением жилищ, потерей средств к существованию и разрушениям транспорта. Большое сожаление вызывает тот факт, что многие из явлений, вызывающих такие стихийные бедствия, наиболее часто имеют место в развивающихся странах мира.

Хотя меры по защите от стихийных бедствий метеорологического характера являются в значительной мере делом каждой страны, они имеют международные аспекты по следующим трем основным причинам: во-первых, метеорологическая наука и практика требуют международного подхода, и системы штормовых предупреждений всех стран зависят от организованного в международном масштабе обмена информацией; во-вторых, во многих развивающихся странах требуется техническая помощь для развития национальных метеорологических служб и усовершенствования внутренних систем штормовых предупреждений; в-третьих, в некоторых случаях разрушения, вызываемые стихийными бедствиями, требуют принятия мер по оказанию помощи в международном масштабе. В настоящем докладе затрагиваются только первые два из этих трех аспектов, причем особый упор делается на международную роль, которую играет ВМО.

ОСНОВНЫЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Повседневно принимаемые решения в отношении деятельности, подверженной влиянию погоды, основываются на метеорологических прогнозах, подготавливаемых на основе текущей метеорологической информации. Многие из метеорологических данных, требующихся почти для всех прогнозов, должны поступать с территории, находящейся за пределами границ страны, выпускающей прогноз. В целях оказания содействия такому международному обмену данными страны мира, действуя совместно через Всемирную Метеорологическую Организацию, объединились с целью разработки планов и обеспечения функционирования Всемирной службы погоды, единой глобальной системы сбора, обработки и распространения метеорологической информации.

Успех Всемирной службы погоды, как системы сбора данных, к настоящему времени возросший благодаря сложным спутниковым наблюдениям и быстрому прогрессу в области численных прогнозов погоды с использованием гигантских электронновычислительных машин, открыл новые возможности в отношении выпуска прогнозов на более длительные сроки. Подробные сведения о ВСП могут быть найдены во многих публикациях ВМО.

Программа исследований глобальных атмосферных процессов (ПИГАП), организованная совместно Всемирной Метеорологической Организацией и Международным советом научных союзов (МСНС), ставит целью лучшее понимание атмосферных процессов и на этой основе - разработку методов подготовки надежных долгосрочных прогнозов. Таким образом, эта программа также имеет отношение к проблеме стихийных бедствий.

Все страны являются уязвимыми для явлений погоды, имеющих силу стихийных бедствий. В некоторых случаях такие явления бывают редкими, а в других, к сожалению, частыми. Иногда такие явления характерны для отдельной страны или по крайней мере имеют некоторые индивидуальные особенности, а иногда представляют собой проявление суровых метеорологических условий, воздействующих на целые районы земного шара; обычно они следуют сезонному ритму. В данном докладе, как это уже указывалось выше, рассматриваются бури, относящиеся к последней категории.

ТРОПИЧЕСКИЕ ЦИКЛОНЫ

Наиболее частой причиной стихийных бедствий и наиболее разрушительными в смысле общего числа человеческих жертв и наносимого материального ущерба, без сомнения, являются тропические циклоны. В Карибском районе они известны как ураганы, в Китайском море - как тайфуны, на Филиппинах - как багуйо, а в районе Австралии - как вилли-вилли.

В Бенгальском заливе, Аравийском море, Индийском океане применяется общий термин "тропические циклоны". Все они имеют в значительной мере одинаковую структуру и режим. В каждом районе тропические циклоны обычно имеют место на протяжении строго определенных периодов, хотя их число и интенсивность в значительной мере различны в разных районах и в разные годы.

Ввиду того, что в данном докладе рассматриваются аспекты этих бурь, связанные с вызываемым опустошением, следует проследить за тем, какие меры могут приниматься для того, чтобы защитить население от воздействия тропических циклонов.

Планирование защитных мер начинается с оценки опасности поражения района циклоном и установления степени интенсивности циклона. В прошлом такая опасность редко определялась достаточно точно, она выводилась на основании данных об аналогичных случаях в прошлом. Местные защитные мероприятия, проводимые после каждого циклона, имеют тенденцию к ослаблению на протяжении периода до следующего циклона. В результате те подверженные воздействию циклонов районы, которые были пощажены циклонами в силу причуд пути их прохождения, могут быть плохо подготовлены к защите от циклонов, когда последние наконец обрушатся на этот район. Еще более серьезным может быть воздействие, связанное с различием степеней интенсивности циклона; население, которое убедилось, что принятые защитные меры были удовлетворительными в отношении одного циклона, может быть застигнуто врасплох, с фатальными при этом результатами, более сильным циклоном. По-видимому, это являлось причиной человеческих жертв, вызванных ураганом "Камилия" в США в 1969 г. и мощным циклоном в Бенгальском заливе в 1970 г.

Сведения об имевших место в прошлом циклонах, обычно лучше отражающие данные о людских жертвах и материальном ущербе, чем данные, касающиеся штормовых характеристик, могут оказаться совершенно недостаточными в районах с быстро изменяющейся системой землепользования и в районах, где происходит перемещение населения. В таких случаях, по-видимому, является желательным создание синтетических климатологических моделей в целях оказания помощи специалистам по планированию мер, направленных на сокращение ущерба, наносимого стихийными бедствиями.

После того, как расчитана вероятность поражения тропическим циклоном, остается определить размер возможного ущерба. Метеорологические явления, которые могут нанести ущерб включают, в первую очередь, ветер, ливневые дожди и штормовые нагоны, вызываемые ветром.

Из их числа штормовые нагоны являются по своему характеру наиболее разрушительными, и на их долю приходится 9 из 10 человеческих жертв при тропических циклонах, а также значительная часть экономического ущерба. Штормовые нагоны воздействуют только на районы, имеющие возвышение менее 10 метров. Но при наличии обломков, переносимых волнами, разрушение может быть абсолютным и сопровождаться разрушением всех строений, за исключением наиболее прочных.

Поэтому оценка опасности штормового нагона предусматривает картографирование прибрежного района в целях установления того, какая часть населения может подвергнуться его воздействию. Такая же картографическая съемка может позволить выявить маршруты эвакуации на возвышенную местность

или в убежища. Эти карты, дополненные расчетами потенциальной высоты штормового нагона, могут в таких случаях быть полезными для разработки плана защитных работ, систем предупреждений, процедур эвакуации, определения числа беженцев и могут являться руководством для местных властей при разработке ими правил строительства и районирования. Соединенные Штаты приступили к осуществлению программы такого рода, за которой с большим интересом будут следить ВМО и те другие страны, которым угрожает воздействие циклонов.

Ветер также может наносить большой ущерб строениям, связи и сельскохозяйственным культурам. Здесь вновь знание возможного воздействия ветра может быть использовано в целях избежания ущерба и повреждений.

Ливневые дожди при тропических циклонах являются единственным наносящим ущерб фактором, который может продолжать действовать далеко в глубину суши после того, как сила приземных ветров в значительной степени уменьшена фрикционным воздействием суши. Хотя некоторые из стран зависят от этих дождей в отношении урожая сельскохозяйственных культур и производства электроэнергии, дожди при тропических циклонах все же слишком часто приводят к разрушительным наводнениям. В тех районах, которые могут подвергнуться ливням,связанным с тропическими циклонами, разработка систем защиты от паводков и систем предупреждения должна основываться на данных о циклонических дождевых осадках, причем их повторяемость определяется числом случаев тропических циклонов, обрушивающихся на прилегающую береговую линию.

Когда существует фактическая угроза тропического циклона,необходимо предупредить население. С вводом оперативных метеорологических спутников и глобальной системы телесвязи Всемирной службы погоды является весьма маловероятным, что тропические циклоны могут иметь место, не будучи обнаруженными, даже в том случае, если они проходят вдали от судоходных линий. Как только шторм обнаружен, он тщательно прослеживается метеорологическими службами стран, которым этот тропический циклон угрожает, использующими судовые и сухопутные сводки, передаваемые через Всемирную службу погоды, а также данные последующих спутниковых наблюдений. В этом отношении большую помощь оказывает система автоматической передачи изображений со спутников, позволяющая осуществлять прямой прием спутниковых фотографий в любом метеорологическом бюро. Когда циклоническая система приближается к береговой линии,метеорологические радиолокаторы обнаруживают местоположение ее спиральных полос и центральный глаз, непосредственно измеряя его движение. Выпускаются прогнозы относительно районов, которые будут охвачены бурей, а также прогнозы положения и высоты штормового нагона. Прогнозы тропических циклонов, по-видимому, подготавливаются повсюду с достаточно высокой степенью совершенства и ограничиваются лишь наличием данных метеорологических наблюдений и соответствующих линий связи.

Процесс предупреждения населения неизбежно различен для различных стран, причем наиболее изменчивым фактором является организация, с административной точки зрения, системы мероприятий. Во всех случаях необходимо, чтобы предупреждение исходило из одного и того же административного источника, и содержало достаточную информацию, позволяющую населению и местным органам власти должным образом реагировать, и поступало с достаточной скоростью, которая позволяла бы принимать имеющие смысл меры. Тот факт, что такие предупреждения являются редкими, делает необходимым принятие специальных мер, направленных на то, чтобы избежать ослабления системы в период между ее использованием. С другой стороны, чрезмерная многократность предупреждений, которые часто являются предупреждениями о стихийном бедствии, которое так и не наступает, приводит к апатии, ухудшая функционирование всей системы подготовки и предупреждения в целом.

Несмотря на существующие системы прогнозирования и предупреждений, стихийные бедствия, являющиеся результатом тропических циклонов, все еще имеют место с удручающей частотой. И тем не менее возможность стихийных бедствий, связанных с циклоном, может быть в настоящее время оценена с определенной степенью уверенности и уже накоплены достаточные знания в отношении практических предупредительных мер, которые могут приниматься в целях по крайней мере сокращения ущерба, наносимого этими штормами. Таким образом, существует определенная надежда, что в будущем число человеческих жертв, связанных с тропическими циклонами, сократится.

XXУ сессия Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций, "озабоченная опустошительными и вредоносными результатами тайфунов и штормов", приняла в 1970 г. резолюцию 2733(D), в которой содержится рекомендация о том, чтобы Всемирная Метеорологическая Организация приняла "соответствующие меры, направленные на мобилизацию обладающих соответствующими знаниями ученых -специалистов в области техники и других соответствующих ресурсов, имеющихся во всех странах" в целях разработки "путей и средств по уменьшению вреда, наносимого этими штормами и устранению или сокращению до минимума их разрушительного потенциала". В поддержку этого резолюция "призывает государства-Члены приложить усилия, в пределах имеющихся у них средств, направленные на полное осуществление плана Всемирной службы погоды Всемирной Метеорологической Организации".

В ответ на эту резолюцию Шестой конгресс ВМО учредил проект ВМО по тропическим штормам, имеющим своей целью сокращение человеческих жертв и ущерба от тропических циклонов. Проект, который в настоящее время осуществляется, как ожидается, окажет помощь национальным метеорологическим службам в деле обеспечения своевременных предупреждений о связанных с циклонами ветрах, дождевых осадках и штормовых нагонах и, кроме того,

поможет им в подготовке общей информации, требующейся для планирования и осуществления средств защиты людей и имущества от будущих циклонов.

Кроме того, ВМО поддерживает региональный проект по тайфунам ВМО/ЭКАДВ, целью которого является принятие конкретных мер в масштабах региона в поражаемых тайфунами областях, с целью усовершенствования служб предупреждения и повышения готовности населения. Как ожидается, число таких региональных программ возрастет с тем, чтобы охватить район Бенгальского залива и Аравийского моря, а также районы юго-западной части Индийского океана. Помимо этого весьма эффективная региональная сеть была создана в районе Карибского моря и Мексиканского залива под эгидой США при оказании помощи со стороны ВМО и ПРООН.

В качестве дальнейшего шага в этом направлении США проводит эксперимент по искусственному воздействию на энергетику тропических циклонов, эксперимент STORMFURY. Моделирование с помощью электронновычислительных машин динамики циклонов позволяет предположить, что засев иодистым серебром выборочных районов конвективных облаков, окружающих центр шторма, имел бы результатом преждевременное замерзание переохлажденных верхних частей облаков, причем будет высвобождаться скрытое тепло таяния в какой-то степени меньшее, чем то, которое имело бы место при естественных процессах. Это стимулировало бы искусственный рост облака в этих выборочных районах, приводя к расширению и, возможно, частичному нарушению циклонной циркуляции, сопровождающейся уменьшением максимальной скорости ветров. Эксперимент по засеву урагана "Дебби" в 1969 г. привел к уменьшению максимальной скорости ветра на 31% в один день и на 15% в другой день. Ввиду того, что это уменьшение скорости ветра, возможно, явилось результатом естественных причин, не связанных с засевом иодистым серебром, результат нельзя рассматривать в качестве убедительного доказательства того, что можно искусственным образом сократить силу шторма. Эксперимент в настоящее время продолжается и, безусловно, за ним с большим интересом следят метеорологи.

Вся эта деятельность отражает видимый прогресс в направлении сокращения общего ежегодного количества жертв и разрушений. И вполне можно считать, что меры, принимаемые по сокращению воздействия тропических циклонов, могут служить образцом в деле борьбы с другими стихийными бедствиями.

ДРУГИЕ ВИДЫ ШТОРМОВ

Как уже упоминалось выше, целью настоящего доклада является описание всех типов метеорологических явлений, которые могут вызвать стихийные бедствия. Более того, довольно подробное описание того, что делается в отношении тропических циклонов, дает достаточно хорошее общее представление о тех проблемах, которые должны быть разрешены в отношении других

видов стихийных бедствий. Тем не менее, краткое упоминание некоторых из числа наиболее важных из этих других явлений может быть полезным.

Торнадо является еще одним опустошающим явлениям. Торнадо имеют место на всех континентах, но они достаточно редки, за исключением Австралии и Соединенных Штатов. Причем торнадо, проходящие по Соединенным Штатам, по-видимому, становятся более жестокими, чем где-либо еще. Торнадо представляет собою интенсивный спиральный вихрь, в среднем, может быть, достигающий 250 м в диаметре и сопровождающийся сильной грозой. Скорость ветра в этом вихре может достигать 500 км/час. Торнадо такой силы разрушает практически все на своем пути.

Несмотря на быстрорастущую плотность населения в поражаемом торнадо поясе Соединенных Штатов число человеческих жертв сокращается, несмотря на то что ущерб, наносимый имуществу, возрастает. Это является прямым результатом интенсивной кампании по подготовке населения, одновременно сопровождающейся уверенным прогрессом в области прогнозирования метеорологических условий, связанных с образованием торнадо. Кроме прогнозирования вероятности торнадо национальная метеорологическая служба США предупреждает население о действительном приближении торнадо, используя при этом радиолокаторы и сеть добровольных наблюдателей. Результаты этой комбинированной программы по работе с населением и по созданию совершенных методов предупреждения являются замечательными.

Опустошительные наводнения, связанные с необычными дождевыми осадками или снеготаянием, также представляют собой повсюду часто повторяющиеся явления и никоим образом не ограничиваются развивающимися странами. Опустошительные наводнения, имевшие место в Румынии и Венгрии в 1970 г. и в Соединенном Королевстве в 1968 г., могут служить примерами. Однако в последние годы методы прогнозирования паводков достигли большого прогресса ввиду возросшего применения современных методов сбора и анализа данных и внедрения встроенных электронновычислительных машин, позволяющих использование сложных моделей в предсказании стока.

Далее, речной сток может регулироваться с помощью плотин и других регулирующих сооружений, которые могут использоваться для уменьшения в значительной степени воздействия наводнений. Тем не менее, эффективность их использования и точность систем прогнозирования паводков зависит от точности и скорости, с которой собираются и анализируются данные с метеорологических и гидрологических сетей. Усовершенствование этих цепей является поэтому одним из основных факторов, от которого зависит успешное осуществление программы по борьбе с разрушительными наводнениями.

Еще одним стихийным бедствием, связанным с метеорологическими

условиями, является снежная буря, представляющая собой резкий и очень холодный ветер, насыщенный снегом, часть которого поднята с покрытой снегом поверхности. Термин появился в Северной Америке, но охватываемое им понятие в настоящее время расширилось и включает аналогичные ветры в других странах. Снежная буря является в какой-то мере современным стихийным бедствием, так как наибольшее воздействие она оказывает на колесный транспорт. Дороги блокируются, большие города парализуются и погибают неподготовленные или неосторожные путешественники. В некоторых случаях скот на открытых пастбищах лишается подвижности из-за снега и не может достичь мест питания. Прогнозирование наступления условий, связанных со снежной бурей, обычно является удовлетворительным; наибольшую трудность представляет предсказание толщины той части снежного покрова, которая может образоваться в результате прохождения снежной бури. И, безусловно, невозможно предсказать, где будет происходить образование снежных заносов, блокирующих движение и парализующих работу снегоочистительного оборудования.

Другой крайностью является засуха, т.е. невыпадение дождевых осадков на протяжении длительных периодов времени. До возникновения современных городов, потребляющих большое количество воды, засуха считалась стихийным бедствием для сельского хозяйства. Теперь, когда города растут быстрее, чем расширяется водоснабжение, призрак засухи возникает как перед фермером, так и перед жителем города. Засуха в отличие от других метеорологических стихийных бедствий не является, по всей видимости, событием, носящим неожиданный характер, хотя изменения в атмосферной циркуляции, которые ее вызывают, могут быть неожиданными, непредсказуемыми в отношении их продолжительности и в такой же степени неожиданными в отношении смены периода засухи периодом выпадения дождевых осадков. Продолжительность таких изменений в циркуляции атмосферы может охватывать периоды времени равные месяцу, сезону, нескольким годам или даже веку. В последнем случае речь может идти о климатическом изменении, но воздействие на экономику пораженного района такого, каким, например, является северо-восточная часть Бразилии, в одинаковой степени велико. Причины изменений атмосферной циркуляции обычно ищут в изменении распределения температуры поверхности моря, происходящем в порядке цепной реакции, вызванной прежними изменениями в атмосфере, но также, вероятно, отражающими повторную циркуляцию в океане, связанную с температурным воздействием метеорологических явлений, имевшими место очень давно. Ввиду ее большого влияния на экономику прилагаются настойчивые усилия, направленные на решение проблемы предсказания тех типов циркуляции атмосферы, которые связаны с засухой. Безусловно, единственным реальным решением проблемы является эффективное водное хозяйство. Такие же меры, как искусственное вызывание дождевых осадков, могут быть в лучшем случае паллиативными.

ВЫВОДЫ

Экстремальные метеорологические условия являются во многих случаях наиболее важной причиной стихийных бедствий, а тропические циклоны во многих случаях представляют собой наиболее опустошительные штормы метеорологического происхождения. Всемирная служба погоды ВМО представляет собой основную систему, от которой зависят системы штормовых предупреждений, в то время как Программа исследований глобальных атмосферных процессов позволит в свое время усовершенствовать человеческие знания об атмосферных процессах и таким образом повысить его способность давать своевременные штормовые предупреждения.

В настоящее время ВМО уделяет особое внимание сокращению губительного воздействия тропических циклонов, которые по своей разрушительной силе являются в целом наиболее опустошительными из всех природных явлений. Такие бури воздействуют на многие развивающиеся страны, и в настоящее время имеет место значительный прогресс в деле оказания помощи этим странам в усовершенствовании их систем штормовых предупреждений и процедур обеспечения готовности населения. Проект ПРООН, осуществляемый совместно ВМО и ЭКАДВ в районе, подверженном воздействию тайфунов, является наиболее ярким примером этого прогресса.

Тропические циклоны являются не единственным проявлением стихийных бедствий, связанных с метеорологическими условиями; торнадо, наводнения, снежные бури, засухи являются другими формами их проявления. И ВМО не в меньшей степени озабочена необходимостью оказания всюду, где это возможно, помощи в деле сокращения вредного воздействия этих других экстремальных метеорологических явлений, как и вредного воздействия тропических циклонов.

ГЛАВА III

ПРОБЛЕМЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ГИДРОСФЕРЕ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧЕЛОВЕКА И ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Современное состояние и перспективы будущего

Е. К. Федоров

Взаимодействие человеческого общества с природной средой в настоящее время тревожит широкие общественные круги в различных странах.

Технически развитое общество губит природу, губит среду, в которой оно живет и из которой черпает все необходимые для себя ресурсы, - такова основная идея огромного количества выступлений ученых и общественных деятелей, такова проблема, обсуждения которой проводятся на многочисленных конференциях и совещаниях, вплоть до Генеральной Ассамблеи ООН.

Взаимодействие человеческого общества с природой является важным аспектом самой истории возникновения и развития человечества и, вместе с тем, именно с возникновением человеческого общества коренным образом изменился характер взаимодействия процессов жизни с окружающей средой. Любая форма жизни взаимодействует с окружающей средой, подвергаясь ее влиянию и приспосабливаясь к нему в процессе биологической эволюции, используя ресурсы среды для своего существования и преобразуя окружающую среду продуктами и результатом своей жизнедеятельности.

Мы знаем об огромной роли процессов жизнедеятельности в создании нынешнего облика нашей планеты - в особенности ее атмосферы, водной оболочки и поверхностных слоев земной коры. Мы удивляемся огромному разнообразию форм жизни, выработанному в процессе эволюции за десятки и сотни миллионов лет, и их приспособленности к различным, иногда экстремальным условиям внешней среды.

Вместе с тем каждый отдельный вид животных или растений может существовать в сравнительно узком диапазоне условий, используя ресурсы среды и оказывая на нее влияние одним и тем же определенным и неизменным образом в соответствии со своей природой.

С появлением человека положение коренным образом изменилось. Человеческое общество, практически без изменения биологической природы человека,

непрерывно, со все возрастающей скоростью изменяет способы своего взаимодействия с окружающей средой, в результате чего расширяются диапазон условий его существования, перечень и объем используемых природных ресурсов и взаимодействие общества на природную среду. Изменения эти заметны уже не за миллионы лет, а за века, в последнее же время - за десятилетия. С древнейших времен до XVI-XVII столетий нашей эры низкие темпы роста производительных сил и народонаселения обусловливали сравнительную стабильность во взаимодействии человечества с природной средой. Использовалась лишь небольшая часть имеющихся природных ресурсов и каждый из них - в малом объеме, с небольшой эффективностью.

Воздействие человека на природу всей планеты в целом было ничтожным.

В XVI-XVII веках положение существенно изменилось. Ускорилось развитие производительных сил. Использование природных ресурсов с целью получения прибыли породило и быстро развило хищническое отношение к природе, особенно в отношении человеческого труда и природных ресурсов колониальных и зависимых стран и "ничейных" природных богатств, например Мирового океана. В результате биосфере были нанесены первые существенные изъяны регионального масштаба - истреблены некоторые виды животных и растений, истощена почва, началась ее эрозия.

Это не могло остаться незамеченным. В XVIII веке Мальтус высказал свое, ставшее затем столь известным, положение о противоречии между неограниченным ростом народонаселения и наличием ограниченных и истощающихся природных богатств и неизбежности в связи с этим голода и других бедствий. Идеи Мальтуса широко используются и развиваются его последователями вплоть до настоящего времени.

В первой половине нашего века наибольшую тревогу вызывал вопрос о достаточности запасов полезных ископаемых, в частности нефти, а в последнее время основное беспокойство вызывают различные формы воздействия человека на природную среду и в особенности ее загрязнение. Высказываются опасения о достаточности самой поверхности земного шара для размещения быстро растущего человечества, общим ареалом обитания которого стала вся планета. Многие современные исследователи утверждают, что конечные ресурсы земного шара в сопоставлении с безграничным ростом потребностей человечества не только создадут предел развитию общества в будущем, но и в настоящее время являются основной причиной низкого уровня жизни в развивающихся странах, где рост населения не сопровождается соответствующим темпом развития экономики. Наблюдающийся сейчас "демографический взрыв"

по их мнению является величайшей угрозой человечеству. Вот, например, что пишет Р.Калдер[x)]: "Везде и всюду мы вновь возвращаемся к проблеме народонаселения. Страшно слушать тех, кто рассуждает о демографическом взрыве как о чем-то очень отдаленном или об угрозе всемирного голода, когда сотни миллионов людей могут подтвердить, что он уже наступил".

В действительности же вся история свидетельствует о том, что рост принципиальных возможностей обеспечения нужд человечества всегда опережал и опережает в настоящее время рост его потребностей. Это справедливо, однако, при рассмотрении портебностей всего населения Земли в целом и возможностей их удовлетворения всеми имеющимися в распоряжении человечества ресурсами.

Так, например, энергия, которую можно было бы выработать, используя имеющиеся в настоящее время ресурсы и способы, на долю каждого человека на Земле сейчас примерно в 20 раз больше той, которую можно было бы выработать сто лет тому назад, используя все известные в то время ресурсы для ее производства.

Если бы современные, достигнутые во многих странах, способы сельскохозяйственного производства были применены на полях всего земного шара, можно было бы полностью удовлетворить потребности в продовольствии не только нынешнего населения нашей планеты, но и значительно большего.

Постоянно возрастают как в общем количестве, так и в доле, приходящейся на душу населения, разведанные запасы важнейших полезных ископаемых, расширяются возможности производства любых материалов из очень многих видов доступного сырья.

То, что при этом потребности большей части населения планеты не удовлетворяются соответственно указанным принципиальным возможностям, то, что в ряде стран люди голодают, а в некоторых развивающихся странах рост населения опережает рост экономики, отнюдь не является следствием какого-либо закона природы или недостатка природных ресурсов.

Это имеет совершенно ясные социально-экономические причины. В развивающихся странах, в частности, это вызвано длительной колониальной эксплуатацией, когда их естественные богатства и человеческий труд использовались в интересах колонизаторов. Некоторые развивающиеся страны не без основания прибегают к регулированию семьи с целью добиться повышения благосостояния своих граждан, однако вряд ли можно сомневаться в том, что основным средством для этого является повышение темпов экономического развития.

---

x) Р.Калдер. Заложенное поместье. Foreign Affairs v. 48, 1970, № 2, p. 207-220.

Основная ошибка в рассуждениях об ограниченности природных ресурсов была отмечена В.И.Лениным[x] еще в начале нашего века. Полемизируя с мальтузианцами своего времени, он указал, что так называемый "закон убывающего плодородия почвы" имеет лишь весьма относительное и условное применение в тех случаях, когда техника остается неизменной, и вовсе не применим к тем случаям, когда техника прогрессирует, когда способы производства преобразуются. В этом и заключается все дело. Именно в связи с усовершенствованием способов производства в самом широком смысле этого слова, повышается эффективность использования природы в целом, создавая возможность опережения соответствующих потребностей общества.

Если бы не это - пределы развитию человечества возникали бы уже давно. Не только нынешнее, но и значительно меньшее население Земли не смогло бы, например, прокормиться охотой по примеру своих далеких предков.

Подобные пределы возникают по временам для животных или растений, которые совершенствуют свои способы взаимодействия со средой - "способы производства" - только путем изменения биологической природы крайне медленно. Поэтому увеличение численности вида в ареале обитания по сравнению с оптимальной величиной обычно приводит к нарушению равновесия со средой и, в конечном счете, к вымиранию избыточной популяции.

Таким образом, в прошлом и в настоящем размеры природных ресурсов планеты не создавали и не создают препятствий для развития человечества.

Однако конечные размеры и масса Земли, при сколь угодно эффективном использовании ее ресурсов, создают определенный лимит для оптимальной численности населения планеты. Мне кажется невозможным определить сейчас этот лимит. "Емкость" нашей планеты - величина переменная, всегда возрастающая, зависящая от способов использования пространства Земли и ее ресурсов - найдут ли, например, люди целесообразным жить только на поверхности суши, или будут использовать акваторию океана или толщу земной коры и т.п. Однако она не может возрастать беспредельно. Поэтому мы должны допустить, что в отдаленном будущем может возникнуть надобность регулирования численности народонаселения планеты. Кстати говоря, может возникнуть проблема регулирования не только численности, но и качественного состава общества, так как успехи биологии могут создать возможность придания

---

x) В.И.Ленин. Полное собрание сочинений, т. 5, стр. 102.

людям некоторых определенных черт характера или поведения. Возможно, что регулирование потребуется не для ограничения, а для увеличения численности человечества. Известно, что темпы роста народонаселения тесно связаны с социальными и экономическими условиями и нет никаких оснований считать безудержное размножение основной целью или основным свойством человеческого рода.

Наконец, определенный оптимум для народонаселения Земли не обязательно означает ограничение численности всего человечества. Вполне вероятно, что значительно ранее будет достигнута возможность создания крупных обитаемых космических тел или использования для жизни других планет.

С проблемой природных ресурсов мы сталкиваемся уже сейчас, гораздо раньше, чем их общий объем мог бы начать сдерживать развитие общества.

Потенциальная достаточность природных ресурсов для нужд человечества может быть реализована практически только при оптимальном использовании всех богатств нашей планеты в целом. Однако здесь мы встречаем серьезные препятствия.

Наличие частной собственности на природные ресурсы и на средства их эксплуатации приводит к тому, что имеет место не только не оптимальное, но и явно хищническое использование природных богатств, в особенности когда природные богатства страны эксплуатируются иностранной компанией. В связи с этим распространяющаяся в настоящее время национализация природных богатств, в особенности их переход во владение общества, имеющего определенную цель и долговременную перспективу своего развития, имеет огромное положительное значение не только в политическом плане, но и для сохранения и эффективного использования богатств Земли для человечества в целом.

Другая весьма серьезная причина неэффективного использования природных богатств состоит в том, что население отставших в своем техническом развитии стран, составляющее большую часть человечества, не имеет надлежащих орудий, средств и квалифицированных специалистов.

Эксплуатация многих природных богатств, например рыбы и полезных ископаемых в океанах, приняла в настоящее время глобальный характер, выходя далеко за пределы отдельных стран. Вместе с тем нет никакого социально-политического механизма, который обеспечивал бы их целесообразное и оптимальное, с точки зрения всего человечества, использование.

Отсутствует и пока не может быть выработана и сама эта "общая точка зрения" человечества в отношении всех природных ресурсов Земли

в целом.

Указанные обстоятельства препятствуют оптимальной эксплуатации природных ресурсов нашей планеты. В еще бо́льшей степени они препятствуют их культивированию и преобразованию.

Задача культивирования относится главным образом к возобновимым природным ресурсам и тесно связана с воздействием на природную среду, - мы рассмотрим этот вопрос более подробно.

В настоящее время мы употребляем почти все виды возобновляющихся природных ресурсов. Степень использования приходной части их баланса измеряется единицами или десятками процентов. Так мы используем около 70% всей почвы, пригодной для сельского хозяйства при современных его методах; около 50% прироста леса; около 10% пресной воды из стока рек; незначительную долю всех биологических ресурсов океана, но существенную - около 70% - долю прироста популяции основных промысловых рыб.

Потребности человечества в возобновимых природных ресурсах все время растут. Средства их"добычи" - изъятия из природы - становятся все более эффективными. Все более эффективным становится и их использование. В целом же мы приближаемся к полному использованию приходной части баланса каждого из указанных ресурсов.

Далее, как показывает уже имеющийся опыт, использование должно либо сократиться, что и получилось, например, в отношении китов, либо должно быть установлено равновесие между приростом и употреблением ресурса, что сейчас достигнуто в некоторых государствах по отношению к лесу, либо нужно переходить к культивированию и преобразованию балансов.

Для нашей страны, как и для других социалистических стран, ведущих плановое хозяйство в масштабе всего государства, этот последний путь является наиболее естественным и уже давно осуществляется на практике. С самого первого периода существования Советской власти, по инициативе В.И.Ленина были приняты различные меры и соответствующие законы о рациональном использовании и культивировании природных богатств. Уже в то время закладывались основы мелиорации земель, преобразования стока рек, организации правильного лесного хозяйства и многие другие меры, естественные в плановом народном хозяйстве.

В настоящее время в некоторых районах Советского Союза мы испытываем недостаток в пресной воде, несмотря на то, что общие водные ресурсы

нашей страны очень велики. Дело в том, что большая часть стока наших рек проходит по малонаселенным районам страны и уходит в Ледовитый океан. В связи с этим требуется тщательно планировать использование водных ресурсов и заботиться об их преобразовании в интересах развития народного хозяйства. Всем известны крупные мероприятия такого рода, осуществленные в нашей стране. Однако это не все - в последнее время разрабатываются проекты еще более кардинального переустройства речной сети - вначале на территории европейской части страны, а в дальнейшем и в Сибири. Основная идея заключается в переброске части стока рек, текущих на север, в южном направлении. Это позволит улучшить орошение громадных пространств засушливых земель и увеличить сток в Каспийское и Аральское моря, что также необходимо для проведения многих хозяйственных мероприятий.

Аналогичное культивирование и преобразование среды осуществляется в отношении почвы, леса и других природных богатств.

Подобные меры проводятся и в других странах. Сейчас это в основном локальные меры, проводимые в рамках отдельных государств, однако уже начато осуществление мер регионального характера, - например, регулирование стока рек, протекающих по нескольким государствам. В недалеком будущем станут необходимы действия глобального масштаба.

Культивирование и преобразование природных ресурсов в глобальном масштабе уже возможно с научной и технической точек зрения. Так, например, уже можно было бы начать крупные опытные работы по культивированию некоторых промысловых рыб в океане. Однако существующие социально-политические условия, как всем понятно, пока что препятствуют этому.

Использование возобновимых природных ресурсов и деятельность человеческого общества в целом оказывают все более возрастающее воздействие на природную среду. Так, мы изменяем состав среды, точнее, изменяем баланс, сложившийся в естественном круговороте различных веществ. Это изменение баланса осуществляется за счет изъятия части веществ из естественного кругооборота и, в большей степени, за счет внедрения дополнительных веществ, главным образом загрязнений от промышленных предприятий, в атмосферу и водную среду. Загрязнение атмосферы и водной среды справедливо рассматривается сейчас как одна из важнейших проблем, стоящих перед человечеством.

Наиболее существенное значение в настоящее время имеет загрязнение вод рек, озер и водохранилищ на территории континентов. Оно началось уже

давно и насчитывает несколько сотен лет. Однако вначале промышленные отходы не играли существенной роли в естественном балансе веществ. Загрязнение носило локальный характер и его ликвидация осуществлялась за счет разбавления отходов чистой водой. В последнее столетие стало необходимым нормировать выброс загрязняющих веществ. Нормирование в течение нескольких десятилетий удовлетворяло требованиям сохранения чистоты рек и озер в целом, так как разбавление обеспечивало ликвидацию загрязнений на сравнительно небольшом протяжении реки. Сейчас положение существенно изменилось. Промышленность выбрасывает в реки и озера загрязняющие вещества в количествах, во много сотен и тысяч раз превышающих естественную концентрацию различных компонентов состава натуральной воды. Уже нельзя рассчитывать на очистку путем разбавления, ибо через несколько десятилетий потребовался бы почти весь сток рек земного шара для того, чтобы разбавить то количество загрязняющих веществ, которого можно ожидать в результате развития соответствующей промышленности. Очевидно необходимы серьезные изменения в технологии производства и очистки, а именно - переход на замкнутые технологические циклы, на повторное использование воды в производстве и тому подобные меры, что технически вполне возможно. Однако соответствующее переустройство промышленности потребует колоссальных капиталовложений во всех странах.

В нашей стране, несмотря на относительно меньшее загрязнение воды, чем в других развитых странах, несмотря на наличие больших, еще нетронутых резервов поверхностных вод, планируются серьезные мероприятия по очистке сбросов и переустройству технологии производства.

В настоящее время новые промышленные предприятия в СССР не пускаются в ход без весьма развитых очистных сооружений. Так, например, строительство заводов на озере Байкал, о котором столь много беспокоится общественность в Советском Союзе и в других странах, было запланировано и осуществлено с вводом в действие очень крупных и уникальных по своей эффективности очистных сооружений.

Однако мы еще далеко не удовлетворены тем эффектом, которого добились в отношении очистки промышленных отходов. Большое количество предприятий, построенных во время войны и в первые послевоенные годы, имеют обычные, принятые во всем мире, несовершенные очистные сооружения в связи со срочным характером их постройки и недостатком средств. Постепенно они совершенствуются или заменяются более эффективными.

В наше время загрязнение водных объектов перестает быть национальной проблемой и становится международной, прежде всего в тех случаях, когда реки протекают через несколько стран, и далее приобретает глобальный характер, поскольку серьезному загрязнению подвергается большая часть морей и Мировой океан.

Аналогичное положение складывается в атмосфере. Сильные загрязнения локального характера отмечаются в очень многих городах и промышленных районах. Здесь нечего приводить примеры, которые всем достаточно хорошо известны. Что касается нашей страны, то у нас также загрязнены многие города, хотя и не в такой степени, как в США и в других индустриальных странах. Мы уже давно планируем строительство предприятий таким образом, чтобы их отходы в атмосферу не оказывали вредного влияния на близкорасположенные жилые районы. Сейчас мы приступаем к планомерному регулированию выбросов в атмосферу таким образом, чтобы избежать выбросов или значительно их уменьшить при неблагоприятных метеорологических условиях. Известно, что при некоторых ситуациях в атмосфере загрязнения скапливаются в нижнем слое и оказывают более серьезное воздействие, нежели при других.

Кардинальным решением проблемы загрязнения атмосферы, как и водной среды, является, разумеется, ликвидация выброса загрязняющих веществ путем изменения технологии. Так, например, наиболее удачной мерой для ликвидации золы, сажи и сернистых соединений, появляющихся от отопительных систем городов, является переход на газовое отопление. Переход Москвы на отопление газом по существу ликвидировал загрязнение в этом огромном промышленном центре. В настоящее время атмосфера в Москве чистая и удовлетворяет требованиям санитарных норм. Переход на газовое отопление будет осуществлен и в других городах нашей страны.

Если загрязнение атмосферы будет возрастать теми же темпами, то в ближайшие десятилетия проблема приобретет глобальный характер. Загрязнение промышленными отходами атмосферы и водной среды достигло к настоящему времени огромного размера, быстро растет и действительно представляет собой серьезную опасность для благополучия человечества. Вместе с тем оно может быть ликвидировано на основе имеющихся научных знаний и технических достижений. Требуются лишь добрая воля и большие затраты.

Для нашей страны и других социалистических стран, имеющих определенную цель и долговременную перспективу своего развития, загрязнение природной среды является временным отклонением от нормы, вызываемым, главным образом, отсутствием достаточных средств в период строительства, отдель-

ными недочетами в планировании и другими подобными причинами, но никак не непониманием государственной важности проблемы.

Можно привести десятки постановлений Совета Министров СССР о мерах по предотвращению загрязнения атмосферы и водной среды - как в целом, так и специально в отношении тех или иных рек, районов или конкретных предприятий.

Так, специальные меры приняты для сохранения уникального природного комплекса в районе озера Байкал, включая особо тщательную очистку вод предприятий, расположенных в бассейне озера, определенный порядок ведения лесного хозяйства, разведение некоторых сортов рыбы и строгое регулирование ее вылова и т.п.

Характерным примером является также озеро Севан, расположенное в горах Армении. Несколько десятилетий тому назад, в связи с острой необходимостью в получении энергии и в орошении земель вблизи г. Ереван, было принято решение использовать часть вод озера для этой цели. При этом предполагалось изменить водный баланс и уменьшить объем озера, снизив его уровень. Запланированные гидростанции и оросительные системы были построены и уровень озера начал снижаться.

Однако сейчас, когда экономика Армении существенно выросла и укрепилась, правительство республики нашло целесообразным вложить значительные средства для того, чтобы предотвратить дальнейшее понижение уровня озера путем подведения к нему воды с довольно большого расстояния. Это делается исключительно для сохранения красивого и любимого не только армянами, но и многими другими советскими людьми природного объекта.

Мы твердо убеждены в том, что все необходимые меры для сокращения, а затем и для ликвидации загрязнения атмосферы и водной среды в нашей стране будут приняты.

Мы знаем, что значительные меры по борьбе с загрязнениями предпринимаются и в США, где они особенно необходимы, поскольку промышленность этой страны дает около половины всего мирового количества загрязнений, и в других странах. Проведение таких мер в странах, где предприятия находятся в частной собственности, зачастую связано с преодолением серьезных противоречий между интересами владельцев предприятий и интересами общества.

Большая и справедливая тревога общественности во всех странах и техническая возможность решения позволяют надеяться на то, что в ближайшие десятилетия промышленное загрязнение окружающей среды будет в основном ликвидировано.

Нужно учитывать также, что предотвращение выброса промышленных отходов в окружающую среду означает сбережение и рациональное использование многих веществ.

Не следует забывать, что существенное загрязнение природной среды возникает в связи с войной. Уже подготовка к войне связана с достаточно частыми случаями непреднамеренного загрязнения окружающей среды при испытаниях ядерного оружия, утерях ядерных бомб и утечках боевых отравляющих веществ. Несравненно больший эффект вызывают военные действия. Это далеко превышает все то, что могли бы причинить любые промышленные загрязнения.

Хорошо известно, какое колоссальное воздействие на природную среду и на все человечество оказало бы загрязнение радиоактивными веществами в случае мирового термоядерного конфликта.

Весьма существенное значение имеет изменение теплового баланса планеты. Любая промышленная деятельность сопровождается выделением тепла. В настоящее время это тепло, выделяемое промышленностью, составляет приблизительно 0,01% от той тепловой энергии, которую получает земная поверхность от Солнца. Если энерговооруженность человечества будет расти в дальнейшем теми же темпами, как в последние десятилетия, то через 50-100 лет эта величина вырастет до одного или нескольких процентов дополнительно к тому тепловому балансу, который веками установился на земном шаре.

На изменение теплового баланса влияет также преобразование альбедо (отражающей способности) земной поверхности за счет строительства городов, сельскохозяйственных мероприятий, орошения и т.д. Влияет помутнение атмосферы за счет пыли, изменение состава атмосферы в результате промышленных выбросов и продуктов горения, главным образом за счет углекислоты, и, наконец, образование дополнительных облаков, например - от самолетов. Эти факторы действуют достаточно сложным образом и порою в различных направлениях, но в общей сложности способствуют повышению температуры земной поверхности и атмосферы. Повышение температуры может достичь одного или нескольких градусов через 50-100 лет.

В принципе возможно принять меры для предотвращения такого

"перегрева", однако это потребовало бы очень крупных согласованных действий в масштабе всей планеты.

Следующим видом вмешательства в естественную среду является изменение влагооборота. Помимо изъятия из оборота некоторой части воды, связываемой с продукцией химических производств, мы должны считаться с тем, что развитие промышленности и сельского хозяйства перераспределяет водные ресурсы, уменьшая речной сток в океан и увеличивая испарение с континентов. Можно ожидать, что в следующем столетии для орошения земли и для промышленности потребуется пресная вода в количестве, составляющем около 50% нынешнего стока рек. Каким образом увеличивающееся испарение будет воздействовать на планетарный влагооборот – пока неясно. Мы можем ожидать увеличения осадков. Увеличение облачности также повлияет на климат.

В дальнейшем, когда наряду с использованием речного стока потребуется значительно увеличить использование подземных вод, а затем, в зависимости от успехов в овладении термоядерной энергией, перейти к опреснению больших количеств морской воды, общее количество пресной воды, находящееся в гидрологическом цикле, будет увеличиваться.

Мы не можем рассматривать здесь существенного воздействия, которое оказывается на всю совокупность животных и растений на Земле. Оно осуществляется в форме прямого истребления многих растений и животных из-за вырубки лесов и мелиорации земель, а также в форме влияния на биосферу упомянутых ранее изменений в составе атмосферы и водной среды, в тепловом балансе и влагообороте.

До сих пор мы говорили о прямом эффекте воздействия на среду. Однако мы знаем, что многие чрезвычайно сложные и взаимосвязанные процессы, определяющие состояние природной среды, временами приходят в неустойчивое состояние. Обратим внимание прежде всего на погоду и климат. Хорошо известны неустойчивые состояния облачных систем. Несмотря на огромную энергию связанных с ними процессов (имеющих мощность до 10^6 – 10^7 кв), возможно сравнительно малыми силами менять направление их дальнейшего развития. На этом основаны методы борьбы с градом, применяющиеся на практике ныне в Советском Союзе, рассеивание облаков и попытки стимулирования осадков, проводимые учеными различных стран.

Большой интерес представляет вопрос об единственности и устойчивости климата. История Земли говорит о том, что ее климат неоднократно изменялся коренным образом.

Есть много гипотез, объясняющих изменения климата. Можно полагать, что в далеком прошлом они вызывались изменениями в направлении оси вращения Земли, в расположении материков и океанов и в других чертах структуры нашей планеты. Однако существенные изменения климата на протяжении последних 10 тысяч лет этим объяснить нельзя.

Следовательно, при неизменной структуре нашей планеты климат может быть существенно разным, т.е. совокупность климатообразующих процессов в атмосфере и океане может занимать не одно единственное, а несколько различных положений относительного равновесия.

Более того, исследования показывают, что это равновесие может временами становиться неустойчивым. Одним из спусковых механизмов, переводящих климат в иное положение, может быть ледовый покров Арктического бассейна[x)]. Это имеет и положительную и отрицательную стороны.

Положительную - поскольку дает нам надежду проводить целенаправленные изменения климата сравнительно небольшими средствами, и отрицательную в том, что подобные же изменения могут произойти и независимо от нашей воли.

Таким образом, не вызывает сомнений необходимость тщательного изучения, прогноза и регулирования воздействия человека на природу. Возрастание воздействия - как непреднамеренного, так и целенаправленного - неизбежно.

Мы стремимся охранять природу и, разумеется, мы должны иметь заповедники в различных природных зонах для целей отдыха, туризма и т.п. Однако наступит время, когда мы не сможем мириться с дальнейшим существованием заболоченной территории, тундры, солончаков и пустынь на многих десятках миллионов квадратных километров пространства нашей планеты.

Надо стремиться и готовиться не к консервации и стабилизации природной среды, а к сознательному и целесообразному преобразованию, культивированию природы с учетом непрерывно возрастающих потребностей человечества.

Если технике придется приступить к выполнению таких задач через несколько десятилетий, то науке пора заниматься ими, по крайней мере в

---

x) Будыко М.И. Полярные льды и климат. Известия Академии Наук СССР, серия Географическая, 1962, № 6.

теоретическом плане уже сейчас. Готова ли она к этому?

Ведутся разработки теории взаимодействия всей совокупности глобальных процессов в атмосфере и океане, определяющих климат и погоду на земном шаре. До последнего времени эти исследования затруднялись недостаточностью информации об исходном состоянии среды и огромным объемом требуемых расчетов. Метеорологические спутники и другие системы сбора глобальной информации и очень мощные электронновычислительные машины, как уже видно сейчас, позволят преодолеть эти трудности. Во всяком случае, соответствующие задачи уже решаются учеными различных стран. Именно с этой целью Всемирная Метеорологическая Организация предпринимает обширную программу исследования глобальных процессов в атмосфере. Можно надеяться, что в ближайшие десятилетия будут получены способы расчетов равновесного состояния и реакции среды на воздействия.

Хуже, с моей точки зрения, дело обстоит в изучении процессов в биосфере - здесь еще очень далеко до расчетов закономерностей естественных процессов и количественных оценок эффекта вмешательства. Вместе с тем, в настоящее время такие расчеты "прочности" и реакций природной среды при осуществлении крупных мероприятий по преобразованию и культивированию природы требуются не менее, чем расчеты сопротивления материалов и прочности элементов конструкций требовались с давних пор для строительства зданий и сооружений. Однако и эта задача, несомненно, будет своевременно решена. На ней уже сосредоточено внимание и национальных, и международных научных организаций. Тревогу внушает другое.

Всю рассматриваемую проблему, по моему мнению, следует трактовать несколько шире. К настоящему времени человечество достигло больших возможностей в проведении действий крупного масштаба в самом широком смысле этого слова. Так, например, огромные возможности регулирования потоков энергии сосредоточены в центрах энергетических систем. Современное массовое производство может в короткий срок выпустить большое количество любой продукции. Хорошо известно, каковы были бы последствия мирового термоядерного конфликта.

Повышение способности к действиям крупного масштаба вообще должно сопровождаться повышением гарантии их целесообразности и надежности.Так, в любом организме, созданном природой в результате естественного отбора, заложены одновременно и возможности к действиям и соответствующие средства обеспечения того, что действия будут использоваться на благо данному организму, данному виду. В технике мы также обеспечиваем повышение целесооб-

разности и надежности действия по мере роста их масштаба. Это делается в любом механизме, обеспечивается в рамках целых предприятий или их объединений. В социалистических странах, ведущих плановое хозяйство, это проводится в масштабе государств. Но этого пока нет в человеческом обществе в целом. В этом и заключается, с моей точки зрения, главная опасность для развития общества.

Я хотел бы привести здесь важное положение, высказанное в докладе Генерального секретаря ООН У Тана, посвященного проблемам природной среды: "Таким образом, ухудшение окружающей человека среды можно объяснить тремя основными причинами: ускоренным ростом населения, растущей урбанизацией и развивающейся и эффективной новой техникой при соответствующем увеличении потребностей в пространстве, продуктах питания и естественных ресурсах. Ни одна из этих причин не должна вредить окружающей человека среде. Однако усилия по снабжению населения, приспособлению техники к сложным условиям окружающей среды, по планированию и контролю индустриализации и урбанизации и по правильному использованию земли и ресурсов оказались далеко не достаточными[x]. Вследствие этого все страны мира стоят перед опасностью, которая в некоторых сферах и в некоторых районах уже достигла угрожающих размеров..."

Так считает Генеральный секретарь ООН. А теперь вспомним положение, сформулированное более ста лет тому назад Карлом Марксом. "Культура, если она развивается стихийно, а не направляется сознательно - оставляет после себя пустыню", - написал он в одном из своих писем[xx]. Вряд ли можно найти более четкое и лаконичное выражение занимающей нас проблемы.

Станет ли пустыней земной шар или нет - зависит от того, разовьется ли своевременно соответствующий социальный механизм, обеспечивающий гармоничное развитие общества во взаимодействии с природой земного шара в целом.

Опыт истории и теория исторического материализма, предложенная тем же К.Марксом, говорят нам, что социальная структура всегда изменялась соответственно с ростом производительных сил таким образом, что обеспечивала

---

[x] Проблемы окружающей среды. Доклад Генерального Секретаря ООН. Экономический и социальный совет. Документ Е/4667, 26 мая 1969 г. (подчеркнуто мною - Е.Ф.).

[xx] К.Маркс и Ф.Энгельс. Сочинения, 2 издание, 1964 г., т. 32, стр. 45.

дальнейшее неуклонное развитие человеческого общества в целом, как бы в ходе цепной реакции, каждая стадия которой подготавливает все условия для появления и дальнейшего роста следующей стадии.

Можно ли указать какой-то срок, к которому обязательно должно быть достигнуто единство человеческого общества во взаимодействии с природой? Полагаю, что возможно. Этот срок лежит несколько ранее того времени, когда использование возобновимых природных ресурсов подойдет к полной величине приходной части их баланса и, с другой стороны, когда некоторые факторы воздействия человеческого общества на природу станут заметно отражаться на естественных процессах.

Как отмечалось выше, мы можем близко подойти к полному использованию приходной части баланса речного стока, прмысловых рыб, леса и, может быть, почвы через 50-100 лет. К этому же сроку мы вправе ожидать, что выделение промышленного тепла и увеличение испарения может начать оказывать заметное воздействие на тепловой баланс и влагооборот в планетарном масштабе. Это, разумеется, очень приближенная оценка. Однако она может быть существенно уточнена в результате более аккуратных расчетов и сопоставления хода развития нескольких, мало связанных между собой, процессов. Это и есть тот критический период, пройти который человечество может только при определенных условиях.

Попытаемся оценить эти условия.

Во-первых, человечество должно иметь осознанную и четко определенную общую цель и долговременную перспективу своего дальнейшего развития. Только в этом случае оно сможет разумно оценить благоприятность или неблагоприятность в целом современных ему особенностей природной среды планеты и тех, которые ожидаются в будущем.

Во-вторых, общество должно иметь практическую возможность планирования и регулирования развития всей своей промышленности, сельского хозяйства и других отраслей практической деятельности на длительный срок вперед в соответствии с принятой им целью. Только в этом случае оно сможет экономно и эффективно использовать и культивировать всю совокупность природных ресурсов на Земле.

В-третьих, общество должно иметь практическую возможность использования огромных материальных ресурсов для согласованного проведения крупных работ в различных районах планеты, дающих результаты лишь в отдаленном будущем. Только в этом случае оно окажется в состоянии принимать меры для

целесообразного изменения природы, вплоть до организации в будущем "биотехносферы" - гармоничного синтеза природной и технически конструируемой среды.

В-четвертых, должна быть исключена возможность крупных конфликтов, любой из которых нарушит остальные условия.

С моей точки зрения, такими свойствами будет обладать единое для всей планеты социалистическое общество. Однако возможно, что необходимые условия могут быть обеспечены и в обществе, состоящем из стран с различным социальным строем, при непременном их мирном сосуществовании и, более того, тесной кооперации в рамках всей планеты.

Независимо от того, какую структуру примет человеческое общество через несколько десятилетий, уже сейчас жизненно необходимы конкретные и серьезные меры для того, чтобы, пользуясь выражением К.Маркса, переходить от "стихийно развивающейся" к "сознательно направляемой" культуре.

Прекращение гонки вооружений позволило бы найти необходимые средства для быстрой перестройки технологических процессов в промышленности и сельском хозяйстве с целью сократить, а затем и предотвратить загрязнение атмосферы и водной среды.

Запрещение ядерного, химического и бактериологического оружия предотвратило бы опасность военного загрязнения природной среды.

Разоружение и обеспечение прочного и длительного мира позволило бы приступить к выполнению крупных проектов по сохранению, преобразованию и культивированию многих природных ресурсов в глобальном масштабе.

Понимание предстоящего этапа в процессе взаимодействия человека и природы обязывает нас бороться всеми силами за то, чтобы социальный механизм регулирования был достигнут раньше, чем стихийное развитие производительных сил могло бы привести к необратимым нарушениям во взаимодействии человеческого общества и природной среды.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЕЛИКИХ ОЗЕР *

Дж. П. Брюс

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос загрязнения системы вод Великих озер стал одним из главных для 35 млн. жителей Канады и Соединенных Штатов, населяющих бассейн Великих озер. Он также стал международным символом того, до какой степени технологические процессы могут серьезно повлиять на огромные природные системы, если не предпринять соответствующих мер по контролю и обработке отходов. К счастью, как в Канаде, так и в США правительства понимают, насколько серьезна эта проблема на всех уровнях (штат, провинция, федерация), и что для решения ее необходимо предпринять определенные меры и произвести затраты крупных денежных сумм, хотя многие ученые и общественность считают, что снижение загрязнения происходит все еще очень медленно, особенно на озере Эри. В данном докладе рассматриваются основные проблемы загрязнения, оказывающие влияние на Великие озера, а также влияние метеорологических факторов на изучение и решение этих проблем.

Проблемы загрязнения Великих озер можно разделить на три основные категории: эвтрофикацию, токсические вещества и отвод тепла. Эвтрофикация - это проблема перенасыщения озер питательными веществами, в частности фосфором и азотом. Такое избыточное удобрение озер носит особенно критический характер на озере Эри, где довольно небольшая глубина (в среднем 18 м) и которое почти полностью покрывается цветением морской водоросли вблизи поверхности в конце лета. Эти цветения морской водоросли затем или погружаются на дно и вызывают интенсивное истощение кислородом глубинных вод во время распада, или вымываются на берег, загрязняя отмели и участки вдоль береговой линии. Водоросль, крепящаяся корнями по дну, такая как Cladophora, также изобилует на прилегающих к берегу участках озер Эри и Онтарио, и в более загрязненных зонах Верхних озер, и оказывает аналогичное влияние на берег. Целью программ по контролю за загрязнением является снижение поступления питательных веществ в озера, особенно фосфора, который в основном является результатом человеческой деятельности и поэтому наиболее легко контролируется из всех питательных веществ, вызывающих образование "культурной" эвтрофикации. Программа Канады по контролю за загрязнением накладывает юридические ограничения на количество фосфатов, которые могут

---

x) Лекция, представленная на Шестом конгрессе ВМО Р.Х.Кларком.

применяться в качестве моющих средств. Как в Канаде, так и в Соединенных Штатах в настоящее время разрабатываются программы, предусматривающие удаление питательных веществ на установках по обработке сточных вод крупных столичных городов.

Ко второй категории загрязнений относятся токсические вещества. За последнее время большое внимание уделялось вопросу ртутного загрязнения озера Сэнт-Клэр, некоторых частей озер Эри и Онтарио. Ртутные отходы от промышленных процессов сбрасывались в озера и образовывали отложения на дне. Попав в осаждения, металлическая ртуть под действием бактерий превращается в высокотоксичный метил, а затем попадает в пищевую цепочку. Было установлено, что в мясе некоторых разновидностей рыб, выловленных почти во всех частях системы Великих озер, содержалось более 0,5 частей на миллион ртути, и эти рыбы были признаны непригодными для потребления человеком (см. рис. 2). Другими токсическими веществами, концентрация которых повысилась в среде, окружающей Великие озера, являются: свинец, кадмий, цинк, ДДТ, диэлдрин, многохлористые бифенилы и некоторые другие. В Канаде и Соединенных Штатах в настоящее время разрабатываются программы активного контроля за загрязнением, которые позволят снизить сброс таких токсических веществ. Однако в некоторых случаях пренебрежение контролем за загрязнением в прошлом создало проблемы, типичным примером которых является положение, связанное с постепенным метилированием ртути, находящейся в настоящее время в осаждениях, контроль за которыми невозможно осуществить силами современной науки и техники.

Третья потенциальная проблема загрязнения Великих озер заключается в возможном влиянии отвода тепла, которое поступает от обычных и атомных энергетических установок, а также других промышленных и муниципальных источников вблизи озер, на воды, флору и фауну. К счастью эта проблема не является серьезной в настоящее время, однако изучения (Денисон и Элдер, 1970 г.) показали, что отвод отработанного тепла в Великие озера согласно различным планам использования энергии в 2000 г. увеличится в 11 раз. Чтобы выразить это количество тепла в более наглядной для человека форме, можно сказать, что годовое количество отработанного тепла, отводимого в Великие озера, к 2000 г. будет равным количеству тепла, которое необходимо для того, чтобы обогреть каждую зиму 12 млн. канадских домов, если бы в Канаде было 12 млн. домов. В масштабе природы это будет приблизительно эквивалентно 18 дням падающей солнечной радиации в январе на поверхности озера Онтарио. В настоящее время ведутся исследования, направленные на то, чтобы рассеять это отработанное тепло между озерами и атмосферой, использовать влияние отработанного тепла.

на флору и фауну озера, на обогрев парников, в водном хозяйстве и в других целях.

Существует целый ряд других примеров проблем загрязнения озер, которые включают случайные попадания нефти и других токсических веществ, загрязнение бактериями, возникающее в результате сброса необработанных городских отходов и отходов с кораблей, а также твердых отходов с судов и прибрежных насыпей.

При рассмотрении влияния атмосферы или гидрометеорологических аспектов проблем загрязнения Великих озер, целесообразно рассмотреть три вопроса: 1) обмен веществ между атмосферой и озерами; 2) обмен тепла и 3) обмен количества движения. Возможно, наиболее важным аспектом в вопросе обмена веществ является влияние осадков на химические загрязнители озер. В докладе Международной объединенной комиссии по загрязнению озер Эри и Онтарио (1969 г.) было подсчитано, что осадками в озеро Эри ежегодно вносится 16 000 коротких тонн азота и 12 000 коротких тонн - в озеро Онтарио. Это составляет приблизительно 8% общего поступления азота в озера. Более поздние данные, полученные в течение 1970 г., подтверждают эти оценки и предполагают, что 3-4% от общего количества фосфора поступает в озера из атмосферных источников. Несмотря на то, что они не представляют собой значительного вклада в питательные вещества озер в процентном отношении, они тем не менее представляют значительные неконтролируемые источники и важны при определении степени снижения контролируемых источников, когда уровень питательных веществ нужно снизить до показателей неэвтропических озер.

Последние изучения, проводимые в Канадском центре внутренних вод, также показали, что значительные количества некоторых токсических металлов вносятся в озера с осадками. В 16 точках вдоль канадского побережья Великих озер совместно с Канадской метеорологической службой были установлены устройства для отбора проб осадков. Кроме фосфора и азота была измерена также концентрация свинца, меди, железа, цинка и кадмия в осадках, которые включали как вымытые дождем материалы, так и выпадения пыли. Некоторые из результатов показаны на рис. 1. Наиболее ошеломляющим является тот факт, что концентрация свинца, особенно в районе Торонто, превышает предельно допустимый уровень 50 частей на миллиард по канадским отандартам для сырой питьевой воды. В течение нескольких месяцев она колебалась между 70 и 90 частями на миллиард на двух станциях в Торонто. Концентрация свинца в общих выпадениях была значительно больше на участках с большой плотностью населения и высокой плотностью автомобильного транспорта, чем на участках

с меньшей плотностью населения в бассейне, как например на полуострове Брюс и в районе Кингстона. Несмотря на то, что значения концентраций меди, железа и цинка были меньше предельно допустимого уровня, тем не менее они, безусловно были выше "желаемых уровней" для стандартов сырой питьевой воды, которые предполагают полное отсутствие этих трех металлов. Например, на о-ве Пеле средняя концентрация меди в осадках с июля по октябрь 1970 г. равнялась 260 частям на миллиард; в районе Хамилтон-Бурлингтон концентрация цинка составляла 140-170 частей на миллиард. Что касается кадмия, этого высокотоксичного вещества, то единственной неожиданностью явился тот факт, что концентрация его вблизи Гуелфа составляла 18 частей на миллиард. Предельно допустимый уровень для сырой питьевой воды - 10 частей на миллиард. Результаты измерений в Гуелфе пока необъяснимы. Значения концентраций кадмия в остальной части сети пробоотбора были порядка 2-3 частей на миллиард. Концентрации, о которых сообщается здесь, менялись в зависимости от пробы и должны рассматриваться как самые предварительные. Более интенсивное изучение будет продолжено в последующие два года. Некоторые пробы, чтобы определить относительный вклад каждой из составляющих, делят на концентрацию метилов, вызванную как выпадением пыли, так и содержащуюся в мокрых осадках. В отделениях ботаники и геологии университета Торонто и нескольких других пунктах бассейна Великих озер проводятся другие работы, связанные с отбором проб осадков.

Важен также газообмен на границе раздела воздух-озеро. Например, окись углерода может быть важным углеродным источником в период цветения морских водорослей и поэтому ограничение обмена двуокиси углерода может сказаться на развитии цветения морской водоросли в течение небольшого периода времени. Поступление кислорода из атмосферы также важно для поддержания высокого качества воды. Скорость газообмена между атмосферой и озерами еще плохо известна.

При рассмотрении обмена между атмосферой и озерами необходимо отметить ту важную роль, которую играют сезонные циклы потепления и похолодания на загрязнение больших озер. Степень и продолжительность потепления и похолодания зависят, безусловно, от сезонных метеорологических условий. Очень холодная зима, на смену которой приходит быстрое потепление весной, часто вызывает резкие горизонтальные скачки в температурной структуре озер вблизи береговой линии. Эти скачки известны как "термобары" (Роджерс, 1965 г.). Образование термобар вызывает заметную, направленную к центру дисперсию отходов, сбрасываемых вдоль береговой линии, и может привести к чрезмерно высокой концентрации питательных веществ и других загрязнителей

в прибрежных зонах весной. Кроме того, сила термоклина - резкие скачки температуры по вертикали между теплыми эпиболотными водами и холодными глубинными водами в озере - зависит в значительной степени от излучающего и конвективного обменов с атмосферой. Ярко выраженный термоклин вызывает газирование глубинных вод озера. Когда в результате распада морской водоросли содержание кислорода падает, атмосферный кислород при наличии сильного термоклина не может проникнуть в глубинные воды. На рост морской водоросли оказывают сильное влияние температура воздуха и солнечное освещение. Год с более высокой температурой воздуха и инсоляцией выше нормы приводит к более пышному цветению водоросли, в то время как холодный год вызывает противоположное действие, хотя количественная зависимость еще не изучена в достаточной степени.

Скорость теплообмена между озером и атмосферой также играет важную роль в связи с рассеянием отработанного тепла от атомных и промышленных установок вдоль береговой линии Великих озер. Отводимое в озеро отработанное тепло диффундирует в озере. Бо́льшая часть тепла рассеивается в атмосферу как в результате заметного излучающего теплообмена, так и в результате испарения. Увеличение средней температуры озера, необходимое для того, чтобы рассеять дополнительное тепло, зависит от коэффициента теплообмена поверхности. В настоящее время существует значительная неопределенность относительно того, каким должно быть значение этого коэффициента. Недостаточность современных знаний мешает определить влияние сбрасываемого отработанного тепла на температуру воды озера, на увеличение потерь за счет испарения и на флору и фауну в районе сброса.

Третий путь, через который атмосфера влияет на загрязнение Великих озер - это перенос количества движения из атмосферы в воды озер. Основной движущей силой течений и циркуляции вод озера является поле ветра над озером, называемое силой Кориолиса, и течения, образуемые большинством впадающих рек. Поступление турбулентной энергии на поверхности озера и теплообмен на поверхности озера контролируют структуру температур озер. Максимальная глубина летнего термоклина является непосредственной функцией этих факторов. Удивительно, но факт, что мало известно о поле ветра, а следовательно и о силе ветра на поверхности больших озер, таких как Великие озера, поскольку не было крупных программ по наблюдению за ветром и силой ветра над большими озерами. В настоящее время сила ветра над озерами выводится или по градиентным ветрам или по береговым наблюдениям за ветром, хотя Ричардс и др. (1966 г.) внесли значительный вклад, связав ветры, определенные по береговым наблюдениям, с ветрами, наблюдаемыми с корабля

и разработав коэффициенты поправок для различных сезонов. В 1972 г. планируется осуществить огромную программу полевых измерений на озере Онтарио. Это будет Международный полевой год для Великих озер (МПГВО). Цель этой программы будет заключаться в том, чтобы точно определить поле ветра над поверхностью озера с помощью буйковых анемометров и разработать наилучшие способы прогнозирования поля ветра и силы ветра по градиентным и наблюдаемым с берега ветрам. Одновременно будут проводиться интенсивные измерения течения и внутренних волн на термоклине и других существенных движений воды в озере. Это позволит нам получить новые данные о течениях в озере, циркуляции и движении воды, вызванных силой ветра на озере Онтарио. Возможно, в результате будут получены обобщенные модели, которые смогут применяться на других озерах.

В настоящее время имеются некоторые данные по течениям и циркуляции в озерах. Очевидно, что течения в озере в значительной степени чувствительны к полю ветра, и что поле ветра для первых 7 или 8 дней имеет большое значение при определении направления и скорости течений вблизи поверхности в любое время (Айерс, 1962 г.). В Канадском центре внутренних вод недавно было закончено изучение с применением инфракрасных сканирующих устройств для определения движения течений на поверхности, которое показало, какое важное значение оказывают поле ветра и атмосферная стабильность на движение загрязненного или нагретого шлейфа или других водных масс на поверхности озера Онтарио. Элдер и Лейн (1970 г.) также подробно изучали структуру температур водной поверхности, показанной на инфракрасных изображениях. Эти структуры могут отражать течения на поверхности. Они наблюдались в виде полос, ячеек и вихрей. Эти мелкомасштабные характеристики связаны с конвективно нестабильным слоем вблизи поверхности ранней весной, который вызывается нагреванием воды не поверхности до температуры меньше температуры максимальной плотности. Такие характеристики поверхности имеются лишь только в таких случаях, когда почти отсутствует механическое перемешивание и потому зависят от превалирующих метеорологических условий.

Другой путь, по которому метеорологические факторы влияют на качество воды в озерах, - это длительное влияние метеорологических условий на гидрологию системы Великих озер. Период медленного потока в соединяющих каналах способствует росту водной растительности и дальнейшему замедлению потока в соединительных каналах. Влияние низкого и высокого уровней на загрязнение озер еще плохо изучено, однако делаются попытки включить такие эффекты в математические модели качества и количества вод озер. Такие модели разрабатываются сейчас в Канаде и Соединенных Штатах.

Коротко можно сказать, что атмосфера различными путями оказывает большое влияние на качество вод Великих озер. Для того, чтобы полностью понять проблемы загрязнения Великих озер, важно лучше понять обмен веществ, тепла и количества движения между атмосферой и озерами. Целый ряд программ Канадского центра внутренних вод, Канадской метеорологической службы и Национального управления по океану и атмосфере США, а также Агентства по защите окружающей среды направлены на то, чтобы решить некоторые из этих проблем. Одно из основных усилий будет проявлено на озере Онтарио во время МПГВО совместно с международными организациями. Изучение взаимодействий между озером Онтарио и атмосферой будет являться основной задачей этой программы.

ПРИЗНАТЕЛЬНОСТЬ

Автор хотел бы поблагодарить некоторых сотрудников Канадского центра внутренних вод за их вклад в подготовку материала или просмотр настоящего доклада, а именно, Ф.М.Бойса, Ф.К.Элдера и М.Т.Шиоми.

ЛИТЕРАТУРА

1. Denison, P. J. and Elder, F. C., 1970: Thermal inputs to the Great Lakes. Proc. 13th Conf. on Great Lakes Research, Intl. Assoc. for Great Lakes Research, Part II.

2. Lake Erie and Lake Ontario Advisory Boards to International Joint Commission, 1969: Report to the International Joint Commission on Pollution of Lakes Erie, Ontario and the International Section of the St. Lawrence River.

3. Rodgers, G. K., 1965: The thermal bar in the Laurentian Great Lakes. Proc. 8th Conf. on Great Lakes Research, Univ. of Michigan, pp. 358-363.

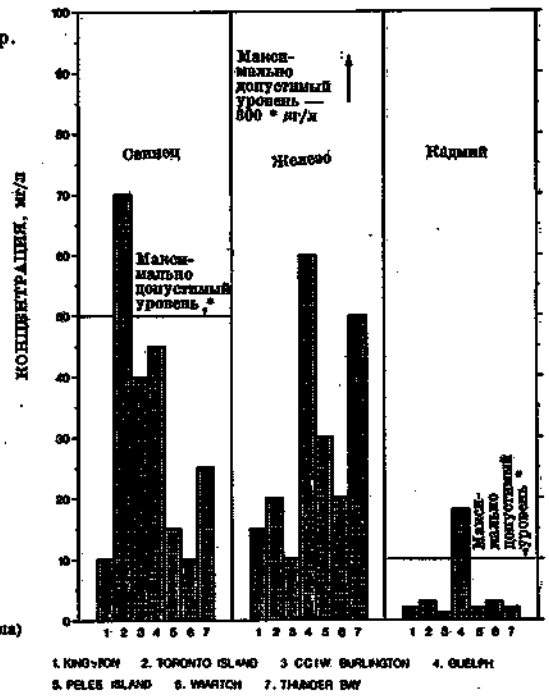
4. Richards, T. L., Dragert, H. and McIntyre, D. R., 1966: Influence of atmospheric stability and over-water fetch on winds over the lower Great Lakes. Mon. Wea. Rev., 94, pp. 448-453.

5. Bolsenga, S. J. and MacDowall, J., 1970: The plan of study for the International Field Year for the Great Lakes. Proc. 13th Conf. on Great Lakes Research, Intl. Assoc. for Great Lakes Research, Part II.

6. Ayers, J. C., 1962: Great Lakes waters, their circulation and physical and chemical characteristics – Great Lakes Basin. Pub. #71, AAAS, pp. 71-89.

7. Elder, F. C. and Lane, R. K., 1970: Some evidence of meteorological related characteristics of lake surface temperature structure. Proc. 13th Conf. on Great Lakes Research, Intl. Assoc. for Great Lakes Research, Part I, pp. 347-359.

Рис. 1 — Металлы в осадках в районе Великих озер. (Выборочные станции — июль – октябрь 1970 г.)



* Канадский стандарт для сырой питьевой воды

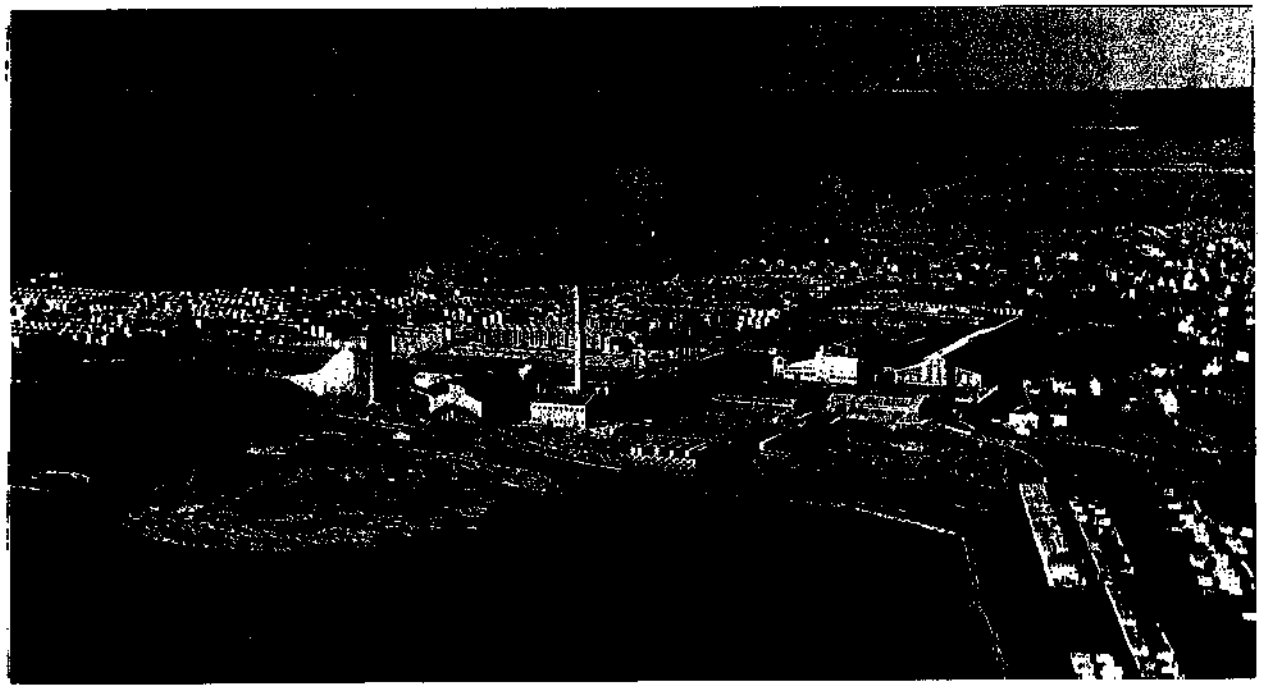


Рис. 2 — Ртуть и другие токсичные вещества, высвободившиеся в результате промышленных процессов, все более явно присутствуют во внутриматериковых водах. Многие из этих веществ могут впоследствии попасть в пищу.

ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВИСЛЫ И ИХ СВЯЗЬ С ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ РЕКИ *

Э. Бобинский

Водосборная площадь Вислы, крупнейшей реки Польши, равняется 193 000 км^2, а протяженность - 1 068 км. Среднегодовое количество осадков на площади водосбора - 600 мм. Среднегодовой расход воды в устье реки составляет 1 030 м^3/сек. Наблюдаемые значения колеблются от 240 до 10 200 м^3/сек. Общегодовой сток колеблется от 20 до 45 км^3. Наблюдаются два четковыраженных периода паводка: весной (февраль-апрель), когда тают снега, и летом (июнь-август) после сильных дождей в горной части бассейна реки.

Река имеет истоки в северных Карпатах. Несмотря на то, что горные притоки и сама верхняя Висла собирают воду только с четверти всей водосборной площади, их вклад в общий сток реки составляет около половины.

С августа и до октября, а иногда в ноябре и декабре, наблюдается межень. Такая межень обычно порядка 25-30% от среднегодового расхода. Максимальная концентрация загрязнения происходит во время межени. По этой причине все измерения загрязнений и стандарты качества воды сравниваются со средним расходом во время межени. Средними значениями расхода воды для межени в Висле являются следующие: Краков - 40 м^3/сек; Пулавы - 130 м^3/сек; Варшава - 180 м^3/сек;Влоцлавек- 320 м^3/сек; устье реки - 370 м^3/сек.

Загрязнение реки Вислы находится под контролем на участке протяженностью 980 км.

На всей своей протяженности Висла загрязняется отходами, поступающими в нее непосредственно или через притоки. Основными источниками загрязнения являются реки: Бяла, Гостыня, Пшемша, Каскада, Влозиеница и другие притоки верхней Вислы, а также города: Краков, Пулавы, Варшава, Плоцк,Влоцлавек и Свеце, включая промышленные районы, расположенные поблизости (рис. 5). Колебания степени чистоты реки Висла в 1969 г. согласно оценкам,

---

x) Лекция, прочитанная на Шестом конгрессе ВМО.

сделанным по зарегистрированным индексам загрязнения в соответствии с усредненным низким значением воды (рис. 1-4), приводятся в последующих параграфах.

Максимальное загрязнение за счет органических и минеральных соединений происходит в верхней части реки, что очевидно из графиков, приведенных на рис. 1-4, на которых показаны изменения выбранных коэффициентов загрязнения. Было установлено, что допустимое стандартное значение коэффициента $БПК_5$ [x)], которое равняется 12 частям на миллион (ч.м.) для воды III класса, было завышено на протяжении 218 км Вислы от устья реки Бяла до устья реки Дунаец.

Максимальное значение коэффициента $БПК_5$, равное 35 ч.м. O_2, наблюдалось в разрезе, ниже устья реки Гостыня и ниже Освенцима. На протяжении всего участка вплоть до устья Дунайца значения $БПК_5$ менялись в пределах 8-16 ч.м., и максимальное значение было зарегистрировано ниже Кракова. Вниз по течению от устья реки Дунаец значения коэффициента не превышали 8 ч.м. Влияние загрязнения, вызванного отходами от района, прилегающего к Варшаве, сказывается на том, что значение коэффициента $БПК_5$ увеличивается до 10 ч.м., а затем падает и снова повышается до 8 ч.м. ниже Плоцка и до 10 ч.м. ниже Влоцлавека. На протяжении остальной части реки значения коэффициента $БПК_5$ остаются в пределах допустимых норм для воды II класса (8 ч.м.).

Потребность в окислении (перманганат калия) показывает, что стандартное значение для воды III класса порядка 30 ч.м. O_2 было превышено на протяжении 42 км вверх по течению от Кракова. Значения ниже 20 ч.м. были зарегистрированы ниже притока Дунайца. На остальной части Вислы кривая окисления была ниже стандартного значения 20 ч.м., предполагаемого для воды II класса. Незначительное завышение значения 20 ч.м. наблюдалось ниже устья реки Брень и поблизости от Сандомира и Влоцлавека.

Максимальное загрязнение за счет соединений фенола происходит в верхней Висле, где допустимая величина для воды III класса (0,05 ч.м.)

---

x) $БПК_5$ (биохимическая потребность в кислороде) - количество кислорода, поглощенное в течение пяти дней на протяжении периода биохимического окисления органического вещества.

существенно превышается, и концентрация фенола достигает 0,25 ч.м. ниже устья притока (р. Пшемша). Следующее превышение стандартного значения отмечалось на участке от устья реки Брень до реки Сан. Вниз по течению от Демблина содержание фенолатов уменьшается, достигая значения меньше 0,005 ч.м. на участке реки вниз к Влоцлавеку. Небольшое превышение допустимого значения было отмечено ниже городов Влоцлавек и Грудзендз. Воды Вислы, впадающие в моря, содержат соединения фенола, значение концентрации которых ниже 0,005 ч.м.

Наибольшая степень солености в водах Вислы, которая определяется концентрацией хлоридов, наблюдается в верхней части реки, ниже ее притока Бяла и недалеко от Кракова. Концентрация хлора, превышающая допустимое значение для воды III класса (400 ч.м. Cl^-), наблюдалась на нескольких участках Вислы от устья р. Бяла до Дунайца. Максимальная концентрация хлоридов имела место ниже реки Бяла (1 100 ч.м.), ниже реки Гостыня (754 ч.м.) и ниже города Кракова (800 ч.м.). От устья реки Дунаец до г. Казимеж содержание хлорида падает и выражается в следующих величинах: в Пулавы – 200 ч.м.; в Модлине – 100 ч.м.; в Плоцке – 70 ч.м.; в Матви – 110 ч.м. На остальной части реки содержание хлоридов остается стабильным и равняется приблизительно 100 ч.м,

Допустимое содержание сульфатов для воды III класса составляет 250 ч.м. SO_4. Оно превышается в верхней части Вислы, между устьями рек Пшемша и Скава. Концентрация сульфатов на этом участке достигает значений 384 и 289 ч.м.

От устья реки Скава до Рабы концентрация сульфата остается на уровне 235 ч.м., а затем можно отметить явное снижение концентрации, вызванное разбавлением за счет вод притоков. Ниже устья Дунайца содержание сульфатов падает до уровня ниже 150 ч.м., а вниз по течению от Демблина – ниже 100 ч.м. В эстуарии воды Вислы несут около 60 ч.м. сульфата.

На протяжении 195 км от устья реки Висла до устья реки Дунаец было зарегистрировано превышение допустимой концентрации растворимого вещества для воды III класса (1 200 ч.м.). Максимальная величина 2 050 ч.м. наблюдалась в водах Вислы ниже Бялы. Недалеко от Кракова это значение понижалось до 1 555 ч.м., а ниже устья Дунайца, как показывает график, концентрация растворенного вещества снижалась по течению реки, достигая 550 ч.м. и меньшей величины вниз по течению от устья Пилицы.

Аммиачный азот наблюдался в количествах, превышающих допустимый уровень для воды III класса (6 ч.м. N_{NH_4}) на участке от устья Бялы до р. Камениа. На участке ниже Пулавы также

наблюдалось незначительное превышение допустимой нормы.

От Демблина до Плоцка содержание аммиачного азота оставалось в пределах 2,0-0,72 ч.м. Ниже Влоцлавека содержание его увеличивалось до 2,0 ч.м. Вниз по течению от Влоцлавека содержание аммиачного азота падает, достигая 0,5 ч.м. в эстуарии.

Количество взвешенного вещества в реке менялось следующим образом:

Максимальные значения были зарегистрированы на участке от устья Пшемшы до устья Скавы и составляли 115-145 ч.м. Допустимый уровень для воды III класса составляет 50 ч.м. Значительное количество взвешенного вещества, наблюдаемого на данном участке реки, возникает от угольных шахт и промышленных предприятий.

Содержание взвешенного вещества вниз по течению от Лакзани падает до 30 ч.м. Ниже Кракова значение это увеличивается до 50 ч.м. и затем, вниз по течению, благодаря притоку воды из рек Раба и Дунаец, понижается до допустимой нормы для воды II класса (30 ч.м.). От реки Нида до г. Демблин значение это составляет 18-23 ч.м., от Демблина до Влоцлавека - 18-26 ч.м. и затем вниз по течению несколько превышает 30 ч.м. В эстуарии количество взвешенного вещества меньше 30 ч.м.

Значения взвешенного вещества связаны с низким средним расходом воды, как говорилось раньше. Для периодов с более высоким расходом содержание взвешенного вещества повышается, но это не имеет такого важного значения с точки зрения загрязнения воды.

Относительно возможности использования воды из Вислы можно сказать следующее.

На протяжении отрезка, который составляет 64% всей протяженности реки, воды Вислы не удовлетворяют минимальным стандартам. На отрезке, который составляет 36% протяженности реки, воды Вислы соответствуют водам III класса, которые могут быть использованы в сельском хозяйстве и промышленных целях. Основными причинами, в силу которых воды Вислы не удовлетворяют стандартам, является высокое содержание аммиачного азота, фенолов и $БПК_5$.

Наиболее загрязненной частью реки является верхняя Висла, которая в течение длительного времени загрязнялась отходами от угольных шахт и другой промышленности районов Силезии и Кракова, которые существуют здесь

более века. За последние 20 лет в результате быстрого роста индустриализации степень и скорость загрязнения увеличились до размеров, о которых говорилось выше. Сложность возникшей проблемы очевидна из того факта, что у Польши по сравнению с другими европейскими странами очень ограничены водные ресурсы (1 600-1 700 $м^3$ на душу населения в год). Для того, чтобы решить эту проблему, в настоящее время изучаются, планируются и осуществляются различные меры. Сюда входит обработка отходов, сбрасываемых в воду, контроль за использованием воды, промышленные и технологические усовершенствования и увеличение притока реки из резервуаров (чтобы увеличить разбавление).

За последнее время было завершено строительство и введено в эксплуатацию много новых установок по обработке отходов. Благодаря значительному контролю за загрязнением уменьшилось ухудшение качества воды реки Висла. За последние два года график загрязнения, представленный на 1969 г., существенно не изменился.

Важная роль в планировании будущих работ принадлежит двум основным проектам: "Польша 26" и "Проект Висла". Эти проекты осуществляются в настоящее время польским правительством совместно с ПРООН и ВОЗ (Польша 26) и ПРООН и ООН в качестве исполнительного органа (Проект Висла).

В проекте "Польша 26" затрагиваются сложные проблемы загрязнения воды, такие как обессоливание и термическое загрязнение. В результате помощи, оказанной ПРООН-ВОЗ, 7 автоматических станций по контролю за качеством воды (АСККВ) были установлены на реках Польши, три из которых были установлены в верхней Висле. Приборы, установленные на этих станциях, непрерывно регистрируют несколько показателей загрязнения воды и представляют собой прекрасный инструмент для обеспечения контроля за загрязнением.

Задача "Проекта Висла" состоит в том, чтобы разработать общий план водных ресурсов бассейна р. Висла на 1985-2000 гг. с учетом роста населения, городского и промышленного развития и сельскохозяйственного производства, а также соответствующие цифры потребности воды, необходимость контроля паводка и отходов.

В настоящее время для решения проблемы используется несколько методов планирования и программирования, включая использование численных математических моделей в гидрологии. Рассматриваются многие альтернативные программы капиталовложений; например, на рис. 6 показаны возможные размещения водохранилищ по такой программе. Ищут оптимальное решение, которое бы

в значительной степени помогло разрешить проблемы обеспечения водой за счет имеющихся ресурсов.

Опыт, полученный от проектов "Польша 26" и "Висла", возможно, окажется полезным для стран, в которых существуют аналогичные проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

Wasilewski, M., 1970: A report on the state of purity of the River Wisla Waters in 1969. (Typescript) Water Economy Research Institute, Warsaw.

КРИВАЯ БПК₅ ВДОЛЬ РУСЛА РЕКИ ВИСЛА

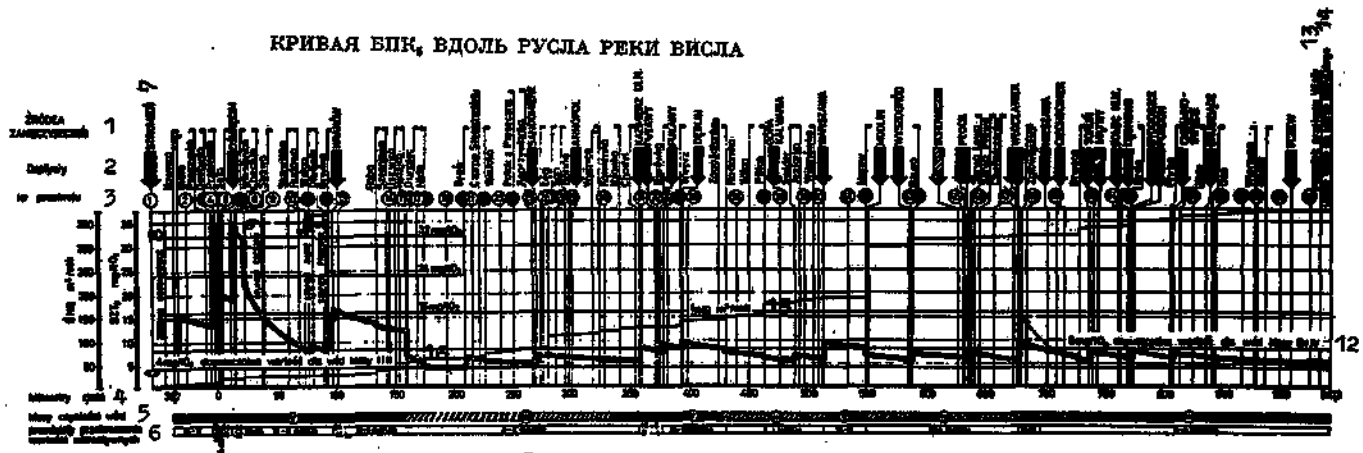


Рис. 1

1. Источники загрязнения;
2. Притоки;
3. Число сечений;
4. Протяженность реки, км;
5. Классы чистоты вод;
6. Участки, где наблюдается превышение стандартных значений;
7. Поток;
8. Резервуар Гозалкович;
9. Локзанская запруда;
10. Дабиевская запруда;
11. Прцевовская запруда;
12. 8 частей на млн. O_2, допустимое значение для воды II класса;
13. Начало укорачивания Вислы;
14. Впадение Вислы в Балтийское море;
15. Средние низкие воды;
16. 4 части на млн. O_2, допустимое значение для вод I класса.

КРИВАЯ ЗНАЧЕНИЙ ОКИСЛЕНИЯ ВДОЛЬ РУСЛА РЕКИ ВИСЛА

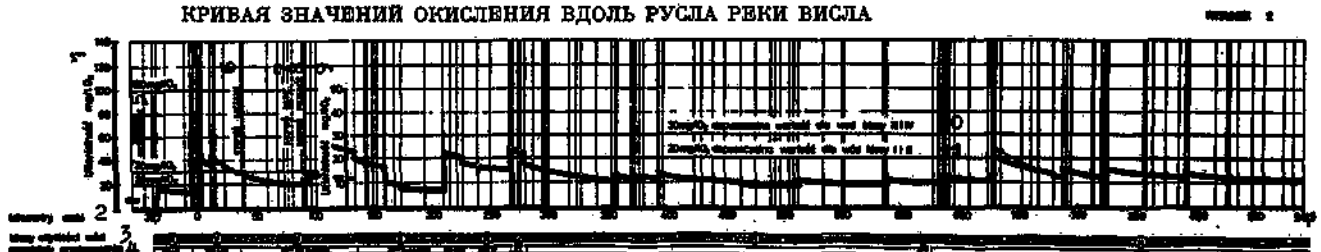


Рис. 2

1. Окисление, частей на млн. O_2;
2. Протяженность реки в км;
3. Степень чистоты воды;
4. Участки, на которых наблюдается превышение стандартных значений;
5. Резервуар Гозалкович;
6. Локзанская запруда;
7. Дабиевская запруда;
8. Прцевозская запруда;
9. Окисление, частей на млн. O_2;
10. 80 частей на млн., допустимое значение для воды III класса;
11. 20 частей на млн., допустимое значение для вод II класса.

КРИВАЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ФЕНОЛОВ ВДОЛЬ РУСЛА РЕКИ ВИСЛА

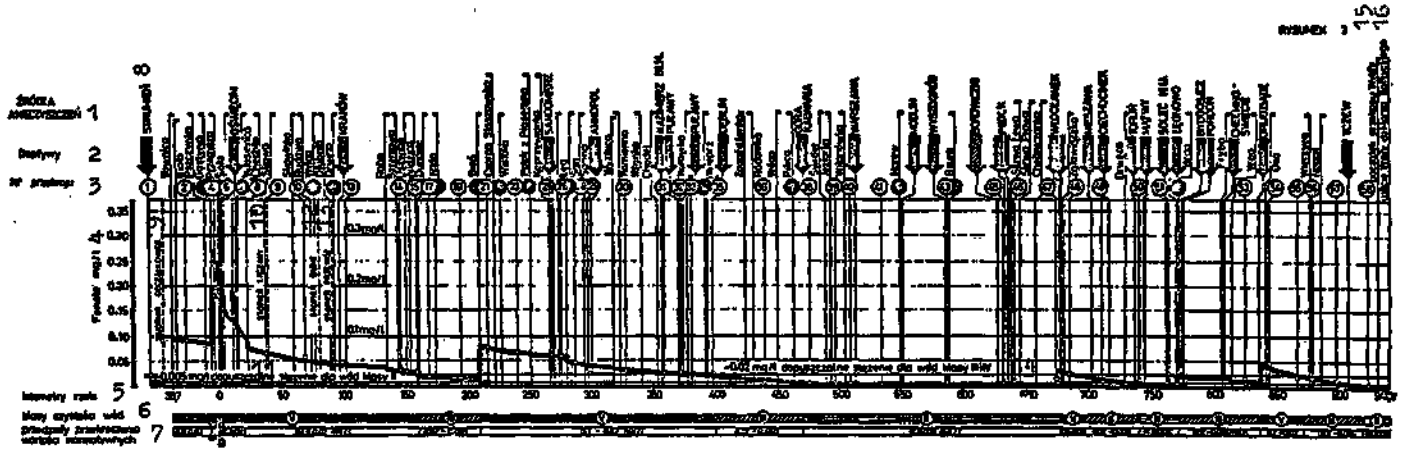


Рис. 3

1. Источники загрязнения;
2. Притоки;
3. Число сечений;
4. Фенол (части на млн.);
5. Протяженность реки в км;
6. Степень чистоты воды;
7. Участки, на которых наблюдается превышение стандартных значений;
8. Поток;
9. Резервуар Гозалкович;
10. Локванская запруда;
11. 0,005 частей на млн., допустимая концентрация для вод I класса;
12. Добиевская запруда;
13. Прцевовская запруда;
14. 0,02 част. на млн., допустимая концентрация для вод II класса;
15. Начало укорачивания Вислы;
16. Впадение Вислы в Балтийское море.

КРИВАЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРИДОВ ВДОЛЬ РУСЛА РЕКИ ВИСЛА

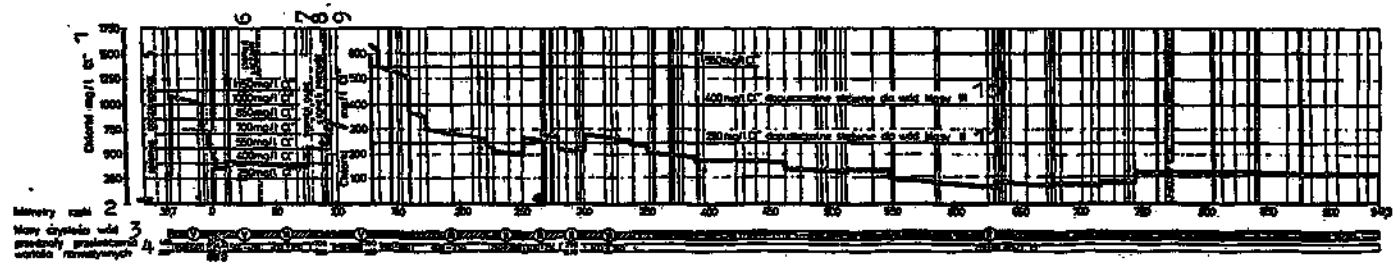


Рис. 4

1. Хлорид;
2. Протяженность реки в километрах;
3. Степень чистоты воды;
4. Участки, на которых наблюдается превышение стандартных значений;
5. Резервуар Гозалкович;
6. Локванская запруда;
7. Добиевская запруда;
8. Прцевовская запруда;
9. Хлорид;
10. Допустимое загрязнение вод III класса;
11. Допустимое загрязнение вод II класса.

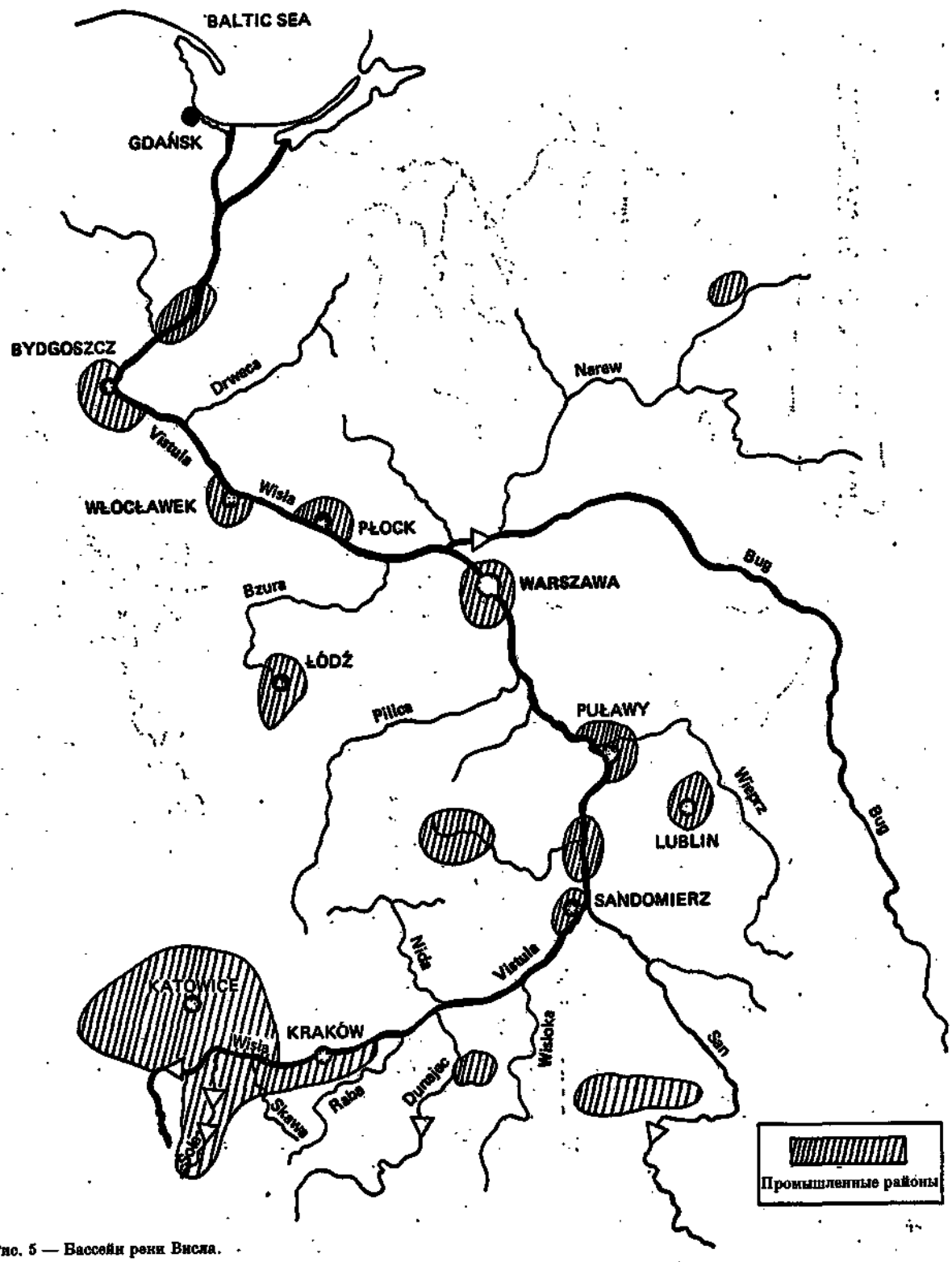


Рис. 5 — Бассейн реки Висла.

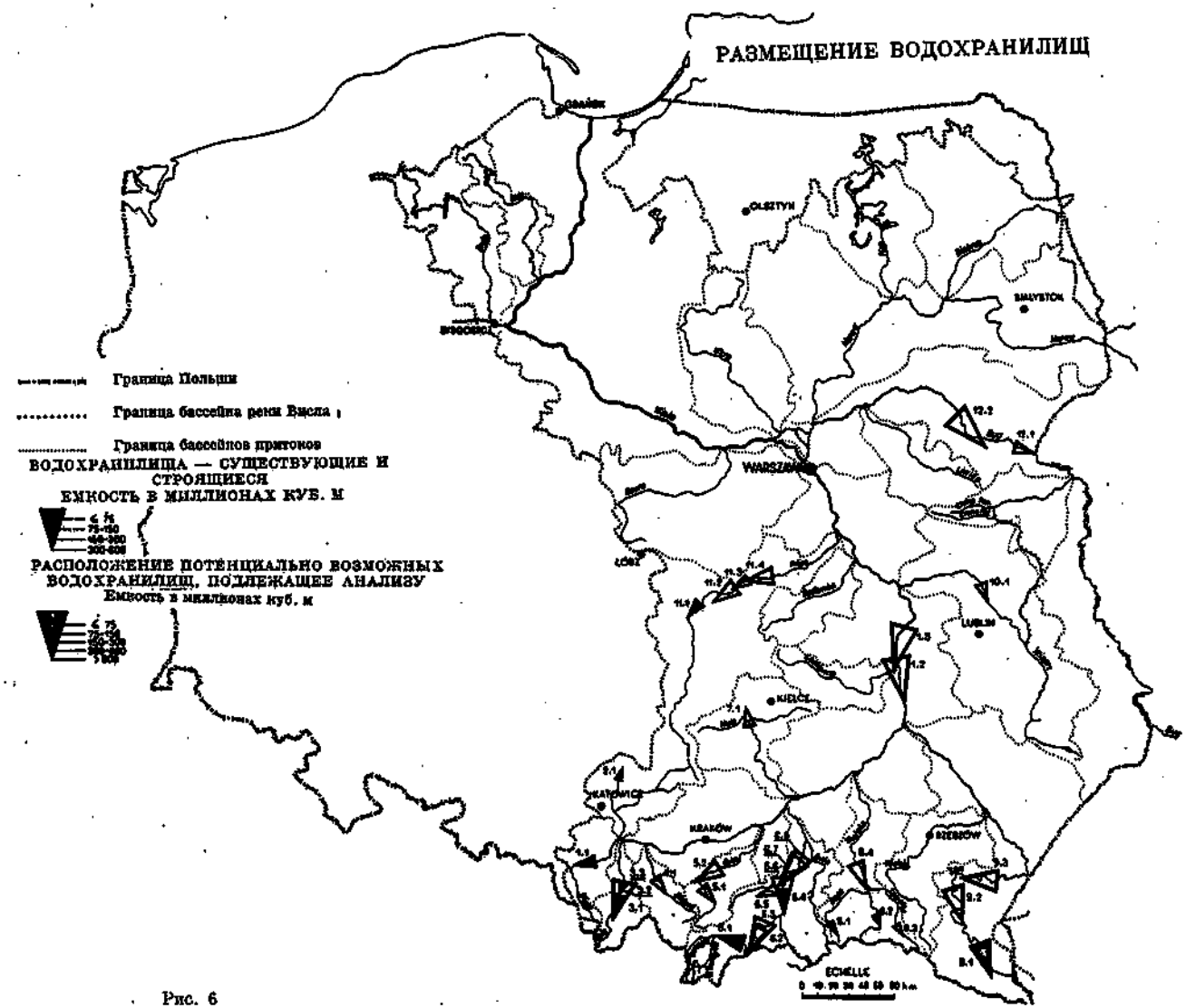

РАЗМЕЩЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ
Граница Польши
Граница бассейна реки Висла
Граница бассейнов притоков
ВОДОХРАНИЛИЩА — СУЩЕСТВУЮЩИЕ И СТРОЯЩИЕСЯ
ЕМКОСТЬ В МИЛЛИОНАХ КУБ. М
РАСПОЛОЖЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО ВОЗМОЖНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ, ПОДЛЕЖАЩЕЕ АНАЛИЗУ
Емкость в миллионах куб. м
OLSZTYN
BIAŁYSTOK
WARSZAWA
ŁÓDŹ
LUBLIN
KIELCE
KATOWICE
KRAKÓW
RZESZÓW
ECHELLE

Рис. 6

АСПЕКТЫ, СВЯЗАННЫЕ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ВНУТРИМАТЕРИКОВЫХ ВОД

Представлен Секретариатом ВМО *

ПОДДЕРЖАНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Как при многих других проблемах, влияющих на качество нашей окружающей среды, загрязнение рек, озер и водоносных слоев постепенно увеличивается на протяжении веков, однако только недавно оно достигло уровней, достаточно высоких для того, чтобы создать важные проблемы в мировом масштабе и, следовательно, вызвало широкую общественную озабоченность.

В своей большей части рост загрязнения рек и озер обусловливается расширением городских, индустриальных и сельскохозяйственных сфер, которые не находятся под контролем учреждения, ответственного за гидрологическое обслуживание района. Однако если загрязнение является следствием проекта, связанного с водными ресурсами, то существует возможность пересмотра или соответствующего осуществления проекта с тем, чтобы сократить вредные воздействия.

Информация о гидрологическом режиме района является исходным пунктом при определении общих рамок, в которых происходит загрязнение. Реки имеют способность рассеивать и разрушать многие загрязнения по мере их стока вниз по течению; чем турбулентнее поток, тем быстрее понижается уровень вредных соединений. Кроме того, имеется прямая взаимосвязь между скоростью течения и концентрацией загрязнений. Это только два примера из числа многих, которые могут быть приведены для иллюстрации тесной взаимосвязи между качеством воды и загрязнением с одной стороны, и гидрологическим режимом речного бассейна, с другой.

Поэтому загрязнение может быть сведено до минимума двояким образом: либо путем контроля поступления загрязняющих веществ в речную систему,

---

x) С помощью д-ра Дж.Т.Питерсона, консультанта ВМО.

либо путем регулирования водотока. Первое трудно осуществить на практике, так как для этого требуются определение источников загрязнения, слежение за концентрациями водотока и введение и усиление законодательства для ограничения внесения вредных количеств загрязнения. Второй путь представляет собой главным образом техническую проблему, однако существует предел тому, чего можно достигнуть посредством регулирования среднего потока и гидрологического режима водных масс. Желательно, чтобы внесение загрязнений увязывалось с прогнозами речного стока, т.е. сбросы должны сокращаться во время засух и могут увеличиваться во время крупных паводков. Это может быть достигнуто только при наличии эффективной системы прогноза речного стока.

Загрязнение, сбрасываемое либо в реки, либо непосредственно в озера, представляет собой проблему окружающей среды, которая воздействует на "здоровье" крупных и мелких озер мира. Это влечет за собой увеличение уровня токсических загрязняющих веществ, увеличение стратификации температуры воды и образование питательных веществ, причем все эти моменты приводят к эвтрофикации озер. Если озеро вообще не имеет стока, то ситуация может бесконечно ухудшаться, если не будет прекращен дальнейший приток загрязнений. В озерах с оттоком приток чистой воды может помогать промывке загрязнений. Это действие происходит естественным путем, однако оно может быть усилено в результате контроля оттока из озера. Как и для рек, гидрологический прогноз также может играть важную роль в уменьшении уровня загрязнения в озере. Например, если предсказывается период низкого притока, то уровень воды в озере может поддерживаться по возможности выше с целью сокращения концентрации загрязнений. Когда прогнозируются паводки, то можно контролировать отток с тем, чтобы поступающая холодная вода встречалась с более теплой озерной водой, в результате чего происходило бы смешение содержания. Если дается прогноз того, что приток будет достаточно большим, то сбросной затвор может быть широко раскрыт, что позволит промыть и сменить большую часть загрязненной воды в озере. Таким образом, гидрологический прогноз, который зависит от метеорологического прогноза, может иметь большое значение при оценке роли рек и озер как приемников и механизмов транспорта загрязнений.

Много работы было проделано по проблеме гидрологических режимов, включая такие вопросы, как измерение уровня воды и расхода водотока, проектирование гидрометрических сетей, гидрологические расчетные данные для проектов водных ресурсов и гидрологические прогнозы. Дальнейшие исследования должны быть связаны с нашим пониманием взаимосвязи между качеством

воды и естественным или искусственным гидрологическим режимом массы воды и с конкретными потребностями национальных учреждений, занимающихся гидрологическим обслуживанием. Именно эти учреждения отвечают на национальном уровне за измерение, сбор, хранение и публикацию данных по речному стоку и уровню воды в озерах с тем, чтобы свести до минимума воздействия загрязнения.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Прежде чем разрабатывать или использовать водные ресурсы необходимо провести исследования воздействия таких проектов на окружающую среду. Эти исследования должны основываться на понимании соответствующих гидрологических факторов и их взаимосвязи с окружающей средой. Среди этих факторов фундаментальными являются те, которые связаны с гидрологическим и климатическим режимом района, как, например, осадки, речной сток, испарение с озер и уровни грунтовых вод.

Качество воды – что касается элементов и соединений, которые естественным образом существуют в реках, озерах и водоносных слоях – связано с различными гидрологическими параметрами, упомянутыми выше, не только посредством своей прямой взаимосвязи с общим гидрологическим режимом, но также и посредством сходства сетей, требующихся для наблюдения как за гидрологическими параметрами, так и за параметрами качества воды. Последствия тесной взаимосвязи между качеством воды и другими гидрологическими факторами сводятся к тому, что их повседневные наблюдения по речному бассейну могут быть объединены для обеспечения большей эффективности в сборе и анализе данных. Проектирование наблюдательных сетей в различных географических зонах и странах с различным состоянием развития водных ресурсов охватывает широкий круг гидрологических элементов, таких как осадки, испарение, речной сток, уровни грунтовых вод, химия и температура воды, загрязнение и биологические свойства.

Существуют большие недостатки в гидрологических сетях во многих странах мира, а положение с сетями по наблюдению за качеством воды еще менее удовлетворительно. Однако создаются оба вида этих сетей для наблюдения за естественным состоянием речных бассейнов, и так как это не будет существенно изменяться со временем, и однажды созданная оптимальная система будет являться функцией только технологических улучшений. Технические достижения, такие как дистанционное наблюдение и использование автоматических систем телесвязи, непосредственное введение информации в масштабе реального времени могут существенно изменить методику измерения и сбора

данных. Однако несмотря на растущую сложность оборудования, которое в настоящее время поступает для использования, требующийся охват основными данными будет оставаться таким же, обеспечивая основную информацию, которая представляет ценность для определения загрязнений и обнаружения их источников. Для того чтобы усилить законодательные меры против сброса загрязнений, возможно, будет необходимо создать дополнительные станции, основная цель которых сводилась бы к наблюдению за уровнем различных загрязнений. Эти уровни будут значительно колебаться как в пространстве, так и во времени, и подлежащие измерению элементы будут совершенно отличными от элементов, измеряемых на основных станциях по наблюдению за качеством воды. По этой причине сеть для наблюдения за загрязнениями может иметь отличный характер по сравнению с основными сетями. Она может накладываться на них согласованным, но гибким порядком, и в нее могут вноситься постоянные поправки для удовлетворения потребностей меняющейся обстановки по отношению к уровням загрязнений.

Если законодательство является эффективным, то уровень загрязнений может быть сокращен до такой степени, что описанная выше сеть по наблюдению за загрязнением станет ненужной. В этом случае может оказаться достаточным продолжать наблюдение за небольшим числом решающих факторов с помощью основных сетей по наблюдению за качеством воды и за гидрологическими элементами.

К сожалению, имеется также вероятность того, что число и количество загрязнений в водных массах будет возрастать гораздо дальше "допустимого уровня"; фактически такое положение уже существует на многих реках и озерах. Если вода больше ни для чего не подходит, кроме как для принятия и транспортировки загрязненных стоков, то сеть по наблюдению за загрязнением, возможно, будет иметь небольшое практическое использование. В этом случае основной гидрологической сети может быть также достаточно для дальнейшего наблюдения.

Выражается надежда, что будет преобладать обстановка, описанная в первом случае, и водные массы мира будут использоваться на благо человечества и для улучшения окружающей среды.

РОЛЬ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ АТМОСФЕРОЙ И ОКЕАНОМ В ГЛОБАЛЬНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ *

К. О. Мюнних

ВВЕДЕНИЕ

В глобальном масштабе существенная часть загрязнения окружающей среды поступает в океан через атмосферу. Это вызвано тем, что время пребывания в атмосфере аэрозольных частиц, паров и газов является сравнимым со временем перемешивания по широтному поясу (порядка 10 дней) (Болин, 1960 г.; Пирсон и Камбрей, 1965 г.). Различные механизмы перехода аэрозолей, паров и газов из атмосферы в океан рассматриваются в последующих разделах.

АЭРОЗОЛИ (на примере свинца)

Те частицы загрязняющие атмосферу, которые в достаточной степени малы для того, чтобы легко не осаждаться в результате действия силы тяжести (т.е. частицы, имеющие размер менее, чем приблизительно 5 микрон в радиусе) наиболее эффективно удаляются из атмосферы дождевыми осадками, являясь при этом ядрами конденсации дождевых капель. Оказывается, что время пребывания в атмосфере мелких частиц приблизительно равно времени пребывания в атмосфере водяного пара (Болин - в цитированном месте; Юнге, 1963 г.). Существует также параллельный путь проникновения частиц в океан, а именно, посредством диффузии. Хотя этот механизм является основным для газов и пара, будет показано, что он, вероятно, имеет лишь ограниченное значение для частиц.

ГАЗЫ (на примере CO_2) и пары (на примере ДДТ)

На своем пути к поверхности океана молекула газа достигает поверхности раздела путем вихревого переноса, за исключением нескольких последних

---

x) Лекция, прочитанная на Шестом конгрессе ВМО.

ТАБЛИЦА I

	Растворимость a	D_1 см^2/сек	Время пребывания в атмосфере τ	τ Дождь / Динам. τ удар	Относительная емкость океана
N_2	$1,7 \cdot 10^{-2}$	0,2	200 лет	1/10 000	$6 \cdot 10^{-2}$
CO_2	1,0	0,15	5 лет	1/2 000	60
Пары DDT	900	$8 \cdot 10^{-3}$	1 месяц	1/40	350
Водяной пар	10^5	0,3	3 дня	2	10^5
Аэрозоль свинца $r = 0,1\mu$	∞	$2 \cdot 10^{-6}$	10 дней	> 10	∞

миллиметров, которые должны преодолеваться посредством молекулярной диффузии. После проникновения через поверхность раздела она снова должна продолжать двигаться посредством молекулярной диффузии в течение определенного периода времени до тех пор, пока она не будет захвачена вихрем в жидкости. Тем временем она может вновь покинуть жидкость, будучи в таком случае, по-видимому, отраженной у поверхности раздела. Такое псевдоотражение и имеет обычно место; только в одном случае из примерно миллиона случаев молекула фактически захватывается вихрем и таким образом в действительности проникает в массу жидкости (Мюнних, 1963 г.).

На рис. 1 весьма схематически показана ситуация для особого случая, когда масса концентрации загрязнителей в жидкости и, таким образом, обратный перенос не принимаются во внимание. Из рисунка и приведенной под ним формулы для плотности потока проникновения j можно видеть, что растворимость a газообразных загрязнителей в жидкости играет важную роль в относительном вкладе двух сопротивлений диффузии, соединенных последовательно и увеличивает общее сопротивление проникновению загрязнителей: бо́льшая растворимость загрязнителей в жидкости вызывает скачок концентрации через поверхность раздела, причем градиент жидкости становится больше и, при прочих равных условиях, поток загрязнителей в жидкости возрастает, а сопротивление жидкости уменьшается. Оказывается, что $a \gtrsim 30$ приводит оба сопротивления к величине одного и того же порядка, а при $a \approx 1\,000$ – для ДДТ или даже 100 000 – для водяного пара, сопротивление воздуха достигает стадии, определяющей скорость реакции, тогда при a ниже 10, что верно для CO_2, сопротивление лежит исключительно в слое жидкости.

Интересно отметить, что силы Ван дер Ваальса, которые в первую очередь являются причиной образования жидкости или твердого тела, зависят

от того, в какой степени молекула может быть преобразована в диполь под действием внешнего электрического поля. Большие по размеру молекулы обычно могут быть поляризованы с большей легкостью и таким образом притягиваться друг к другу с большей силой, при этом быстрее образуя жидкости и твердые тела, тогда как маленькие молекулы имеют большую летучесть и сохраняют газообразную форму. Ввиду того, что силы Ван дер Ваальса также регулируют растворимость молекул в посторонней жидкости, оказывается, что менее летучие вещества являются также более растворимыми в воде.

Из этой информации, которая основывается главным образом на данных о CO_2, выведенных из цикла C^{14} (Мюнних – в цитированном месте; Мюнних и Ретер, 1967 г.), но которая была также подтверждена позже с помощью измерений радона (Брекер и Кауфман, 1970 г.), может быть сделано обоснованное предположение в отношении поведения многих других загрязнителей (табл. I). Однако для экстраполяции до таких экстремальных случаев, как пары ДДТ или даже аэрозоли свинца, необходимо усовершенствовать модель с учетом того, что пограничные слои газа и жидкости не имеют достаточно хорошо определенной статической толщины, а скорее имеют статистическую толщину, которая возрастает в зависимости от рассматриваемой константы диффузии. Это наиболее легко сделать при помощи модели среднего времени замещения вихря (Данквертс, 1961 г.; Мюнних, 1963 г. и 1971 г.). В этом случае обнаруживается, что удаление аэрозольных частиц из атмосферы в результате непосредственного динамического удара является весьма малым по сравнению с удалением дождевыми осадками. Хотя экспериментальные данные по-видимому дают основание предполагать, что непосредственный динамический удар является более важным, чем это может быть выведено теоретически из модели (Мюнних, 1971 г.), общий вывод о том, что аэрозоль в первую очередь осаждается дождем, не изменяется.

ЛИТЕРАТУРА

Bolin, B., 1960: On the exchange of CO_2 between the atmosphere and the sea. Tellus, 12, pp. 274-281.

Broecker, W. S. and Kaufman, A., 1970: Near-surface and near-bottom radon results for the 1969 North Pacific Geosecs Station, J. Geophys. Res., 75, pp. 7679-7681.

Danckwerts, P. V., 1951: Analytical Chemistry, 43, 1460. See J. T. Davies, E. K. Rideal, 1961: Interfacial phenomena Academic Press, London, 474 pp.

Eriksson, E., 1965: An account of the major pulses of tritium and their effects in the atmosphere, Tellus, 17, pp. 118-130.

ЛИТЕРАТУРА (продолж.)

Junge, Ch. E., 1963: Air chemistry and radioactivity, Academic Press, London, 365 pp.

Münnich, K. O., 1963: Der Kreislauf des Radiokohlenstoffs in der Natur. Naturwissenschaften, 50, pp. 211-218.

Münnich, K. O., 1971: The pollution of the sea through the atmosphere, GESAMP III/12, Report submitted to the 3rd. session of GESAMP (Rome, Feb. 1971).

Münnich, K. O. and Roether, W., 1967: Transfer of bomb C. 14 and tritium from the atmosphere to the ocean. Internal mixing of the ocean on the basis of C-14 and tritium profiles. In "Radioactive Dating and Methods of Low-Level Counting", IAEA, Vienna, pp. 93-104.

Peirson, D. H. and Cambray, R. S., 1965: Fission product fall-out from the nuclear explosions of 1961 and 1962. Nature, 205, pp. 433-440.

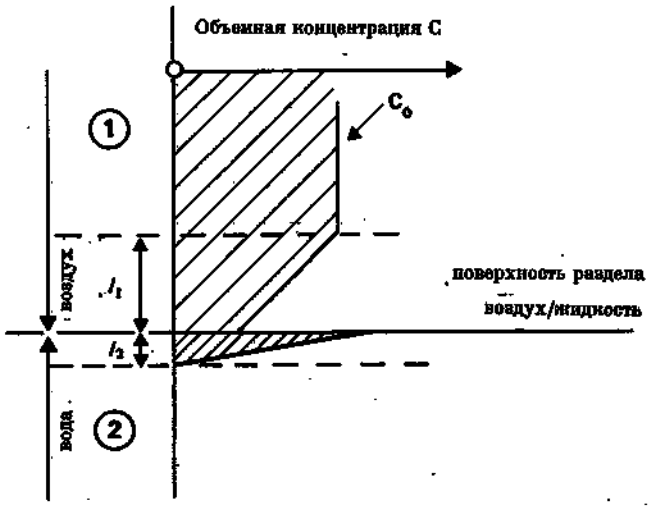


Рис. 1 — *Простая модель с двумя пограничными слоями.* На данном рисунке предполагается, что коэффициент растворимости газа в жидкости $\alpha = 3$. Таким образом имеет место скачок концентрации фактора 3 через поверхность раздела. (Коэффициент растворимости α дает отношение концентрации газа на объем жидкости выше того же числа в газовой фазе в условиях равновесия).
Концентрация газа в массе жидкости предполагается ≈ 0. В этих условиях плотность потока проникновения загрязнителей есть $j = c_0 w$, где c скорость поршня $\approx w$ может быть найдена из уравнения

$$\frac{1}{w} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} = \frac{l_1}{D_1} + \frac{l_2}{D_2}$$

При округлении численных величин, полученных на основании данных о CO_2 (и водяного пара, Эриксон, 1965 г.), а именно $l_1 = 0{,}4$ см, $l_2 = 20\ \mu$, $D_1 = 0{,}15$ см²/сек, $D_2 = 1{,}5 \cdot 10^{-5}$ см²/сек, $\alpha = 1$, оказывается, что $w \approx w_2 = 27$ см/час $= 2{,}4$ км/год, что соответствует времени пребывания в атмосфере CO_2 $\tau = 4{,}5$ года (сравните Мюнних и Рётер, 1967 г.).

АСПЕКТЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРЕЙ

Представлен Секретариатом ВМО *

ПЕРЕНОС ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ АТМОСФЕРЫ В ОКЕАН

В настоящее время считается, что атмосфера является одним из основных источников загрязнения морей. Это вызывается тем, что большая часть загрязняющих веществ, достигающих океаны, попадает туда путем переноса в атмосфере. Помимо этого, постоянно возрастающие количества неорганических отходов и химических веществ распространяются в атмосфере в результате расширения промышленной деятельности во всем мире и необходимости развития сельскохозяйственного производства.

Уже отмечалось, что многие загрязняющие моря вещества происходят из атмосферы. Речь идет в данном случае о химических веществах и неорганических отходах (таких как хлорно-органические соединения: ДДТ, ВНС, диэлдрин, эндрин), ВРС, ртути и свинце. Так, например, от 40 до 60% годового производства хлорно-органических пестицидов проникают в море и не менее 50% этого количества попадает туда через атмосферу. Часто загрязняющие вещества переносятся в атмосфере на большие расстояния, и поэтому необходимо проводить тщательные исследования для определения механизма переноса их в атмосфере, выявления природы переносимых загрязняющих веществ и определения их количества, которое попадает в море.

Постоянный контроль за загрязнением морской среды не был систематическим; до сих пор он проводился только в ограниченных океанских районах, но никогда не проводился в глобальном масштабе. До организации объединенной глобальной системы контроля за загрязнением морей необходимо провести прежде всего общее изучение океанов с тем, чтобы определить степень нахождения в морской среде различных веществ. Таким образом,

---

x) С помощью д-ра Дж.Т.Питерсона, консультанта ВМО.

предлагается организовать глобальное исследование загрязнения морской окружающей среды (ГИЗМОС). Для разработки глобальной программы контроля необходимо провести сначала исследования в целях определения степени концентрации различных веществ, организмов и осадочных отложений, находящихся во взвешенном состоянии в океанах, определить главное загрязнение относительно мало загрязненных зон и установить контрольные станции для изучения изменений, которые будут со временем происходить в загрязненных зонах. Было предложено, чтобы изучение загрязнения океанов вдоль контрольной линии проводилось в основном по следующим элементам: углеводородные галоиды (остатки ДДТ, алдрина, ВРС), нефть, тяжелые металлы, радиоактивные ядра и пищевые или могущие быть использованы для этих целей продукты.

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ – ПРОБЛЕМЫ ИХ ДОБЫЧИ В МОРЕ

Добыча руды и нефти со дна морей требует точного знания многочисленных факторов среды, которые оказывают влияние на проведение различных работ. Любой проект добычи ископаемых в море включает три основных вида работ: подводные работы, вспомогательные работы на поверхности моря, транспортировку руды на берег и снабжение места разработок. Для планирования и выполнения этих работ необходимо располагать сведениями об условиях океана и атмосферы и, в частности, среднестатистическими величинами и прогнозами будущих условий.

Оборудование, используемое под водой и иногда на большой глубине, должно быть защищено от морской воды вызывающей коррозию и должно противостоять высокому давлению на глубине моря и морскому течению. В течение последних десятилетий технология подводного оборудования развивалась с удивительной быстротой. Разработка подводного оборудования зависит от точных данных об условиях под водой, таких как температура, соленость, течения на глубине, а также об изменениях этих элементов с глубиной. Таким образом, это заставляет проводить океанографические исследования.

Метеорологические условия и волны оказывают большое влияние на работы, выполняемые на поверхности моря. Перед тем как начать бурение в определенном районе моря или океана, необходимо определить количество дней, во время которых можно будет работать, и установить характер и размер естественной опасности. Необходимо располагать статистическими данными о штормах, больших волнах, тумане, морских льдах, обледенении и температуре воздуха и воды. Если точные данные отсутствуют, то в зависимости от степени срочности разработок следует определить, нужно ли начинать работы без наличия данных, полагаясь только на удачу, или, наоборот, следует подождать

и принять меры для сбора в течение нескольких лет новых данных в заданном районе. В момент начала работ необходимо располагать точными прогнозами о метеорологических и океанических условиях с тем, чтобы облегчить строительство, необходимое для использования установок, и обеспечить безопасность персонала и сохранность материала.

Проблема транспортировки часто решается очень трудно. В океанах имеются районы, где добыча руды или нефти кажется выгодной, но где транспортировка персонала, оборудования и добытого материала может серьезно затрудняться из-за плохих климатических условий. Добыча не может быть начата, пока эти проблемы не будут решены.

Национальным метеорологическим службам все чаще и чаще предлагается, чтобы они предоставляли специальные сведения относительно поверхности океанов и метеорологических условий как для нужд уже ведущихся в море разработок полезных ископаемых, так и для разработок, которые находятся в стадии проектирования. В некоторых случаях создаются специальные службы прогнозирования для того, чтобы позволить горнякам работать в тесном сотрудничестве с синоптиками. Такая тенденция давать прогнозы в связи с окружающей средой напоминает эволюцию, которая имела место в свое время в области авиационной метеорологии.

НЕФТЯНЫЕ ПЯТНА

Одним из последствий развития нефтяной промышленности в мире является загрязнение морской среды, которое увеличивается по мере развития добычи нефти в морских районах и связанными с этим перевозками сырой нефти. Утечка и разбрызгивание нефти могут произойти во время бурения или в результате различных неполадок при бурении, могущих иметь место из-за неправильной геологической съемки заданного района. Во время перевозки добытой нефти причиной загрязнения часто являются течь и аварии танкеров. Эти проблемы вызвали волну общего беспокойства с момента гибели судна " Torrey Canyon " в 1967 г.

Для того чтобы предусмотреть, как выброшенные в море нефтяные пласты будут перемещаться и изменяться на поверхности океанов с учетом естественных физических процессов, т.е. под влиянием морских течений и ветра, метеорологи и океанографы должны работать в новой области исследований и морского метеорологического обслуживания. В настоящее время начаты теоретические изучения перемещения нефтяных пластов, а также применение результатов на практике в целях обеспечения службы прогнозирования. Работа

должна вестись по линии изучения действия ветра на перемещение загрязняющих веществ, которые дрейфуют на поверхности океанов.

Для прогнозирования этих перемещений можно было бы проводить работу по следующему плану:

1. Прогнозирование направления и скорости ветра на поверхности моря для различных сроков действия прогноза.

2. Анализ состояния моря на различных глубинах с помощью синоптических наблюдений за движением воды (и другими параметрами), передаваемых достаточно густой сетью наблюдательных станций.

3. Численное интегрирование гидродинамических уравнений океана путем выбора соответствующих граничных условий и использования предусмотренных значений ветра и давления для расчета сил движения на поверхности моря. С помощью этих данных можно было бы прогнозировать движение воды на различных глубинах для различных сроков действия прогноза.

4. Расчет пути движения загрязняющих веществ в течение срока действия прогноза путем применения метода последовательных интервалов, основанного на расчете полного смещения в течение каждого интервала.

Значимость такой программы зависит от различных факторов, таких как плотность сети наблюдения, частота наблюдений, качество системы телесвязи, используемой для передачи метеорологических и океанических данных, оборудование быстродействующими ЭВМ. Именно в этих областях в будущем следует концентрировать усилия в целях улучшения системы морского метеорологического прогнозирования.

Как только благодаря совместным усилиям метеорологов и океанографов станет возможным прогнозировать перемещение нефтяных пластов, можно будет намного более эффективно организовать движение судов, направляемых для уничтожения этих пластов. Это особенно важно для охраны среды, в которой живет человек, потому что вся эта работа имеет своей главной целью не допустить загрязнения нефтяными пластами пляжей и других мест отдыха вдоль побережья.