

главной целью наших исследований в этом направлении идентификацию наиболее опасных ситуаций, обусловленных в первую очередь дефицитом озона в толще атмосферы, ставилась задача получить представление о сезонной и пространственной обусловленности таких явлений. В настоящей работе обсуждаются некоторые результаты изучения условий их возникновения.

В работе использованы данные измерений ОСО на американском спутнике AURA за период 2005–2009 гг.

### **Сезонные особенности поля ОСО**

Некоторые исследователи при оценке возможности появления высокой УФ-облученности используют такой показатель, как «отклонение от нормы», а в качестве «нормы» используют средние величины ОСО за период 1974–1984 гг. [5, 7] или средние за 1973–2002 гг. [4, 8]. С нашей точки зрения, информация об отклонениях от «нормы» не эффективна для восприятия широким кругом пользователей, если иметь в виду влияние УФ-радиации на здоровье людей, количество которой вблизи земной поверхности регулируется ОСО. Более наглядной является идентификация ситуаций с дефицитом ОСО как потенциально опасных для окружающей среды. С учетом современной ориентации на спутниковые измерения ОСО для изучения сезонных особенностей поля ОСО на территории России были использованы данные спутниковых измерений прибором OMI американского ИСЗ AURA с разрешением  $1^\circ \times 1^\circ$ .

Первое отечественное обобщение данных о распределении ОСО в Северном полушарии было выполнено В.И. Бекорюковым еще в 80-е гг. прошлого столетия и представлено в работе [2]. В этой работе, ставшей предметом многочисленных ссылок, были использованы данные наземной озонометрической сети в период 1973–1983 гг. Для решения наших задач полезно получить представление о возможности применения указанных данных, что было выполнено в виде оценок совпадения представленных в [2] средних месячных полей ОСО с рассчитанными нами по данным спутниковых измерений (рис. 1).

По результатам сравнения установлено хорошее согласование конфигурации и сезонной динамики рассчитанных нами среднемесячных

*Л.Б. Ананьев, И.Н. Кузнецова, М.И. Нахаев*

## **ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО ДАННЫМ ИСЗ (2005–2009 гг.) УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОБЛУЧЕННОСТИ**

### **Введение**

Среди газов, составляющих атмосферу Земли, важными для жизнедеятельности человека являются прежде всего водяной пар, углекислый газ и озон. Эти газы играют большую роль в энергетике системы земля – атмосфера и особенностях циркуляции атмосферы, формирующих погоду в различных районах земного шара. Водяной пар и углекислый газ оказывают основное влияние на температурный режим и циркуляцию в тропосфере, которые формируют погодные процессы в этом слое атмосферы.

Максимальное количество озона сосредоточено в стратосфере, в связи с этим озон определяет температуру и циркуляцию стратосферы, влияющих также на тропосферные процессы. В этом смысле исследование особенностей распределения общего содержания озона (ОСО) в различные месяцы года представляет практический интерес для целей прогноза погоды. Другое важное значение информации об ОСО состоит в том, что от ОСО зависит поступление ультрафиолетового излучения к подстилающей поверхности, так как наиболее сильные полосы поглощения солнечного излучения озоном (полосы Харли и Хейнса) лежат в УФ-области спектра (0,29–0,4 мкм). Недостаток количества озона в толще атмосферы (т.е. дефицит озона) обуславливает возможность опасного воздействия УФ-излучения на человека. Имея

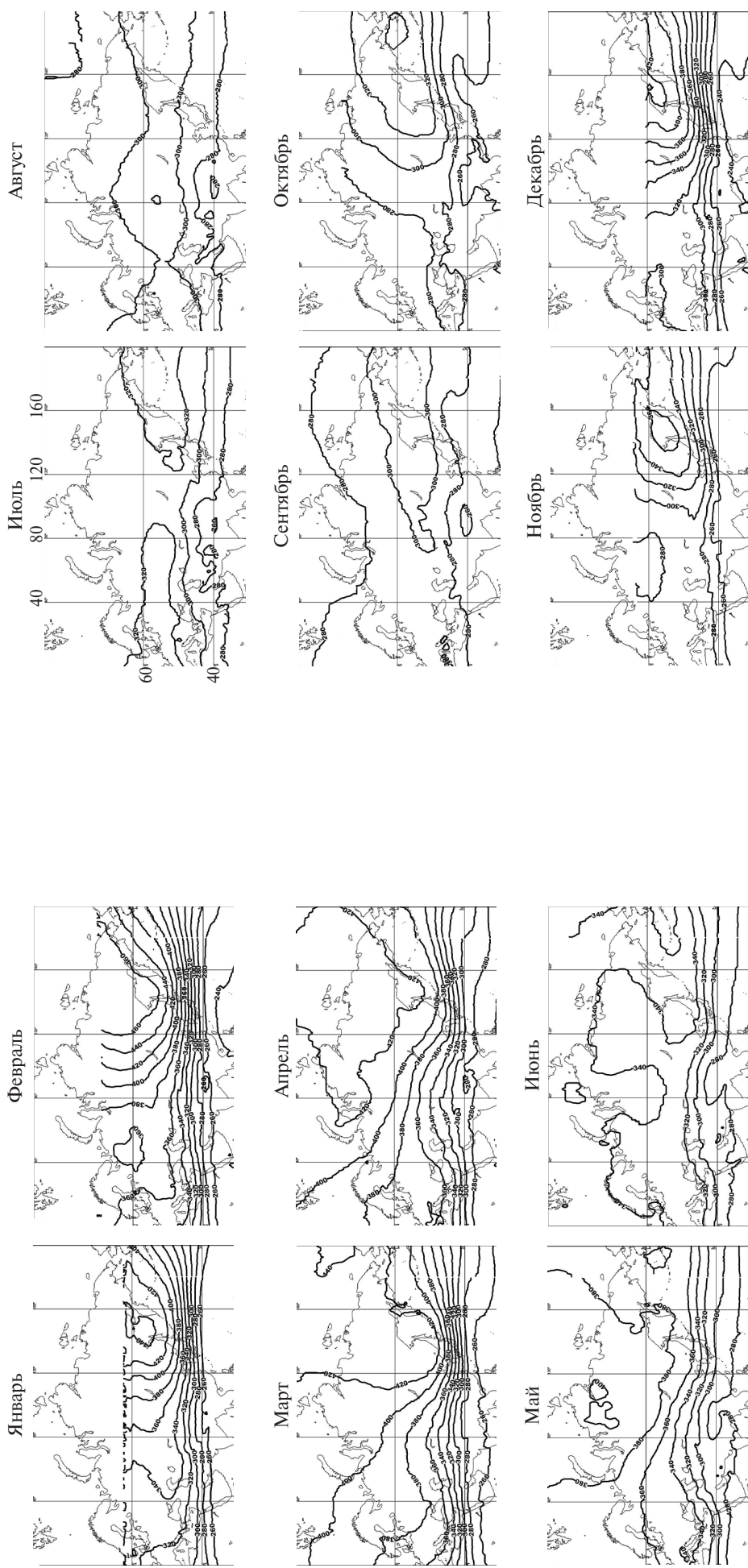


Рис. 1. Средние за месяц величины ОСО (е.Д.) по данным

спутниковых измерений (ИСЗ AURA) 2005–2009 гг.

полей ОСО с данными «Атласа климатических карт общего содержания и парциального давления озона» [2]. Выявлено, что среднемесячные значения ОСО в исследуемый период (2005–2009 гг.) уменьшились примерно на 20–30 е.Д., при этом имеются региональные различия в величине тренда, что совпадает с выводами работ [3, 6, 9, 10, 13 и др.].

Предполагая, что сведения о сезонном распределении ОСО могут представлять интерес для достаточно широкого круга читателей, отметим главные сезонные особенности с краткой оценкой различий величин ОСО в двух реперных точках (Москва и Магадан) между данными работы [2] и данными полученными авторами за последние пять лет.

**Январь.** Зона наибольшего ОСО расположена над Охотским морем с максимумом более 440 е.Д. и резко убывает к югу Приморского края и Курильской гряды, где величина градиента приближается к 80 е.Д. на 1000 км (рис. 1). От побережья Охотского моря до Байкала ОСО уменьшается на 30 е.Д. на 1000 км, далее на запад – от Байкала до западных границ России – градиент составляет около 10–15 е.Д. на 1000 км. В январе на ЕТР ОСО в среднем изменяется в диапазоне 320–340 е.Д., на Урале и в Сибири – 340–400 е.Д., на Дальнем Востоке – 400–440 е.Д.

Отметим, что средний уровень ОСО (2005–2009 гг.) оказался на 35–40 е.Д. меньше, по сравнению с данными [2] (в Москве – на 60 е.Д., в Магадане – на 25 е.Д.).

**Февраль.** На этот месяц чаще приходится годовой максимум ОСО. Интенсивность максимума ОСО на Дальнем Востоке увеличивается до значений 460–470 е.Д., центр его смещается на Магаданскую область и восток Якутии. На востоке Сибири широтный градиент в феврале увеличивается до 25 е.Д. на 1000 км, а над ЕТР, Уралом и большей частью Сибири существенно не меняется, составляя примерно 10 е.Д. Зона наименьшего количества ОСО (до 350 е.Д.) располагается над Архангельской областью и Коми; над территорией Сибири ОСО изменяется от 380 до 430 е.Д.

По сравнению с климатическими данными, [2] уровень ОСО в этом месяце меньше на 15–20 е.Д., (в Москве – на 30 е.Д., в Магадане – на 10 е.Д.)

**Март.** Очаг максимума ОСО (до 420 е.Д.), по сравнению с предыдущим месяцем, увеличивается по площади, охватывая большую часть Дальнего Востока и Якутии, а градиент ОСО с востока на запад

существенно уменьшается. При этом на юге Сибири увеличивается широтный градиент до 30–40 е.Д. на 1000 км; над ЕТР и Уралом он составляет около 15 е.Д. на 1000 км. Отрог ОСО со значениями 370–400 е.Д. распространяется на Европейскую территорию России. Над Уралом и Западной Сибирью прослеживается слабовыраженная ложбина со значениями 360–390 е.Д.

Отметим, уровень ОСО в этом месяце, по сравнению с климатическими данными [2], меньше в среднем на 35–45 е.Д. (в Москве – на 35 е.Д., в Магадане – на 50 е.Д.).

**Апрель.** Область максимальных значений ОСО (400–430 е.Д.) распространяется на арктические районы Урала, Сибири и Дальнего Востока. Широтный градиент на юге Приморского края и Сахалина, по сравнению с мартом, существенно уменьшается и составляет 30 е.Д. на 1000 км, а на юге Урала и Сибири растет и уже достигает 40 е.Д. на 1000 км. Над ЕТР изменчивость ОСО с севера на юг незначительна – 15 е.Д. на 1000 км. Распределение ОСО над территорией ЕТР имеет повышенные величины со значениями 360–400 е.Д. Над Уралом и Сибирью располагается область пониженных величин ОСО со значениями 370–420 е.Д.

Отметим, что в этом месяце различия между климатическими данными и ОСО в последние годы наибольшие, уровень ОСО на 50–60 е.Д. ниже, чем в Атласе [2] (в реперных пунктах: в Москве – на 55 е.Д., в Магадане – на 60 е.Д.).

**Май.** Зона максимального ОСО (около 400 е.Д.) располагается над Таймыром, область повышенного ОСО занимает по-прежнему всю Сибирь и большую часть Дальнего Востока. Наименьшие средние за месяц величины ОСО (340 е.Д.) в мае наблюдаются в южных районах ЕТР. Линия равных средних месячных величин ОСО проходит от Владивостока через юг Байкала и Томск к Санкт-Петербургу.

Отметим, что, по сравнению с климатическими данными [2], уровень ОСО в этом месяце уменьшился примерно на 40–50 е.Д.

**Июнь.** Содержание озона в атмосфере умеренных и высоких широт продолжает уменьшаться. Поле ОСО характеризуется малой пространственной изменчивостью: над большей частью России ОСО составляет 320–340 е.Д. (в Красноярском крае – до 350 е.Д.).

Отметим, что по сравнению с данными [2], уровень ОСО меньше в основном на 30–40 е.Д. (в Москве – на 35 е.Д., в Магадане – на 45 е.Д.).

**Июль.** Уровень ОСО сезонно понижается; поле ОСО отличается от предыдущих месяцев образованием в умеренных широтах двух слабовыраженных максимумов со значениями 320–330 е.Д. на ЕТР и в прибрежной зоне Дальнего Востока. На остальной территории ОСО в июле около 310 е.Д.

Отметим, что уровень ОСО, по сравнению с климатическими данными в этом месяце меньше на 20–30 е.Д. (в Москве и Магадане – на 30 е.Д.).

**Август.** Продолжается сезонное убывание озона в толще атмосферы. При этом наибольшие качественные и количественные изменения в поле ОСО наблюдаются над арктическими районами России: там значения ОСО становятся меньше 300 е.Д. При этом в средних широтах от западных до восточных границ России образуется своего рода пояс повышенного ОСО (до 320 е.Д.).

По сравнению с климатическими данными [2], уровень ОСО в этом месяце меньше на 30–35 е.Д. (в Москве и Магадане – на 35 е.Д.).

**Сентябрь.** Содержание ОСО приближается к годовому минимуму. Над арктическими районами России значения ОСО составляют 270–290 е.Д., притом что над Дальним Востоком и югом Сибири начинает формироваться очаг ОСО, его максимум остается низким (300–310 е.Д.).

Отметим, что по сравнению с климатическими данными [2], уровень ОСО в этом месяце уменьшился на 20–30 е.Д. (в Москве – на 25 е.Д., в Магадане – на 30 е.Д.).

**Октябрь.** Над ЕТР, Уралом и севером Сибири сохраняется низкий фон ОСО (270–280 е.Д.), в этом месяце здесь годовой минимум. А над территорией Дальнего Востока начинает формироваться очаг максимума ОСО, он увеличивается по площади и интенсивности (до 320 е.Д.). Средний уровень ОСО на территории России в этом месяце, по сравнению с [2], меньше на 30–35 е.Д.

**Ноябрь.** Продолжается общее повышение уровня ОСО, наиболее интенсивно – на востоке России. Над акваторией Охотского моря усиливается главный максимум (350–360 е.Д.). Над ЕТР, по сравнению с октябрём, ОСО в среднем за месяц выше на 10 е.Д.

По сравнению с климатическими данными, уровень ОСО в этом месяце меньше на 20–30 е.Д. (в Москве – на 35 е.Д., в Магадане – на 20 е.Д.).

**Декабрь.** В дальневосточном очаге максимума ОСО 410–420 е.Д., что на 60 е.Д. больше, чем в ноябре. Градиент уменьшения ОСО на юг

составляет 60 е.Д., на запад до Урала – 30 е.Д. на 1000 км. Над ЕТР и Уралом ОСО увеличивается до 290–310 е.Д. Отметим, что уровень ОСО в этом месяце меньше всего отличается от климатических данных [1], но имеются ярко выраженные региональные особенности: на востоке России уровень ОСО практически совпадает с [2], а на западе ОСО меньше на 25–35 е.Д. (в реперных пунктах: в Москве – меньше на 35 е.Д., в Магадане – без изменений).

Сезонная и пространственная эволюция поля ОСО обусловлена особенностями общей циркуляции атмосферы (ОЦА). Так, зимний максимум ОСО, сопряженный с азиатской высотной ложбиной циркулолярного вихря (ЦПВ), сохраняется, пока высокий полярный циклон не сместится на летний стратосферный антициклон. Летняя область повышенного ОСО в умеренных широтах является следствием ее расположения с холодной стороны планетарной фронтальной зоны [2]. Механизмом формирования этой полосы является перенос воздушных масс с озоном из тропических широт. При этом над полярными районами наблюдается пониженное содержание озона, так как в этот период существенно ослабевает межширотный воздухообмен из-за блокирующего влияния стратосферного антициклона [11, 12]. Осенью, благодаря быстрому радиационному охлаждению, происходит формирование ЦПВ, дающего начало образованию азиатской ложбины, соответственно, и дальневосточному зимнему максимуму ОСО [11].

Сформулируем кратко наиболее характерные сезонные особенности ОСО над территорией России. Наибольшая изменчивость поля ОСО наблюдается в январе–феврале, а наименьшая – в июне–августе. В очаге перманентного дальневосточного максимума среднемесячная величина ОСО изменяется от максимума в феврале (440–470 е.Д.) до минимума в сентябре (300–310 е.Д.). Максимум ОСО весной смещается с территории Охотского моря на Таймыр, охватывая большую часть Центральной и Восточной Арктики. В июне область с повышенным ОСО перемещается из арктических районов России в средние широты и сохраняется там до конца лета. Минимальные значения ОСО (270–280 е.Д.) отмечаются в сентябре и октябре над ЕТР, Уралом, севером Сибири и западным сектором Российской Арктики.

Межгодовая изменчивость ОСО на территории России описана в ряде работ [1, 3, 6 и др.], где основными причинами называются фазы

солнечной активности, извержения вулканов, антропогенное влияние, а также характеристики общей циркуляции атмосферы – квазидвухлетнее колебание, арктическое или североатлантическое колебания.

Имея в виду особенности влияния крупномасштабных атмосферных процессов на распределение ОСО, были изучены связи ОСО с метеорологическими параметрами. Для отдельных месяцев определены корреляционные связи ОСО с температурными и барическими характеристиками нижней атмосферы (до 10 гПа). В качестве примера в табл. 1 представлены результаты влияния корреляционной связи ОСО и метеорологических характеристик в апреле с использованием данных за период 2007–2009 гг. (первый десяток лучших – из сорока рассматриваемых предикторов). Видно, что ОСО имеет наиболее тесные связи с состоянием слоя, охватывающего верхнюю тропосферу и нижнюю часть стратосферы; наибольший коэффициент корреляции ( $R = -0,83, 0,81$ ) ОСО имеет с градиентом температуры в слое 400–50 гПа ( $T_{400} - T_{50}$ ) и с толщиной слоя 300–50 гПа ( $H_{300} - H_{50}$ ), где  $H$  – высота геопотенциальной поверхности.

Таблица 1  
Коэффициенты корреляции (R) метеорологических параметров с ОСО

Параметры	$T_{400} - T_{50}$	$T_{400} - T_{70}$	$T_{400} - T_{100}$	$T_{500} - T_{50}$	$T_{500} - T_{70}$	$H_{50} - H_{300}$	$H_{50} - H_{200}$	$T_{500} - T_{30}$	$T_{500} - T_{200}$	$T_{200}$
R	-0,83	-0,78	-0,74	-0,82	-0,77	0,81	0,80	-0,82	-0,79	0,77

Установление количественных связей ОСО от метеорологических параметров является основой для разрабатываемых статистических моделей ОСО, с использованием которых в Гидрометцентре России создается технология краткосрочного прогноза УФ-индекса (УФИ) на территории России.

### О связи УФ-индекса с дефицитом ОСО

При образовании дефицита общего содержания озона (ОСО) в ясную или малооблачную погоду возникает опасность высокой ультрафиолетовой облученности окружающей среды. Такие ситуации представляют реальную угрозу здоровью людей [14], поэтому являются предметом особого внимания специалистов. В некоторых зарубежных странах

информация об УФ-облученности в виде УФИ представляется вместе с прогнозом погоды; прогноз УФИ с детализацией прогноза в населенных пунктах можно увидеть и на Интернет-сайтах (<http://www.fmi.fi/wealth-er/>, <http://www.dwd.de/serVICES/gfmm/>, <http://www.meteo.pt/en/ambiente/uv/> и др). УФ-индекс характеризует уровень солнечной УФ-радиации, приходящей на горизонтальную площадку земной поверхности, и введен для удобства информирования населения. По рекомендации ВМО он выражается целым положительным числом и является безразмерной величиной. УФИ количественно выражается формулой [14]:

$$\text{УФИ} = k \times \int_{250\text{nm}}^{400\text{nm}} I(\lambda) s(\lambda) d\lambda,$$

где  $I(\lambda)$  – солнечный спектральный поток с длиной волны  $\lambda$ , в Вт/м<sup>2</sup>;  $s(\lambda)$  – характеристика эритемного воздействия УФ-излучения на кожу человека;  $k$  – константа, равная 40 м<sup>2</sup>/Вт.

В настоящее время для территории России в рамках научных исследований Росгидромета разрабатывается технология прогнозирования УФИ. Заметим, что единственным отечественным методом прогноза УФ-облученности является метод Н.С. Ивановой, разработанный в 90-е гг. с использованием данных наземных измерений ОСО (<http://method.hydromet.ru/>). Как и в зарубежных аналогах, в этом методе главными и определяющими компонентами метода расчета УФ-облученности являются ОСО в предшествующие сутки и облачность на момент прогноза. Прогностические характеристики облачности могут быть получены по данным гидродинамических моделей атмосферы; для прогноза ОСО применяются различные статистические модели, выбор которых определяется не только установленными физическими связями предикторов ОСО, но и обеспеченностью исходными данными. Так, данные спутниковых измерений ОСО находятся в открытом доступе на сайте (<ftp://toms.gsfc.nasa.gov/>), но их получение возможно с временным сдвигом, в лучшем случае двух-трех суток после наблюдений. Надо отметить также, что наземные измерения ОСО на ведомственной сети Росгидромета имеют значительные погрешности и пока не могут быть использованы в схемах оперативного прогноза ОСО, следовательно, и УФИ.

В соответствии с международными рекомендациями, УФ-облученность представляется в виде количественных индексов УФИ (табл. 2).

УФИ имеет диапазон от 1 до 11 (в экваториальных широтах до 14). Воздействие ультрафиолетового излучения на человека количественно оценивается эритемным действием, т.е. покраснением кожи, в дальнейшем приводящим к пигментации кожи (загару). Начиная с УФИ=6, УФ-облученность может оказывать негативное воздействие на человека [14].

Таблица 2  
Соответствие УФИ-индекса УФ-радиации и степени эритемного воздействия [9]

Значение УФИ	Поток УФ-излучения (Вт/м <sup>2</sup> )	Степень воздействия
1–2	0,03–0,05	Низкая
3–5	0,08–0,13	Умеренная
6–7	0,15–0,18	Высокая
8–10	0,2–0,25	Очень высокая
11+	Более 0,28	Опасная

Для «идеальных» условий (отсутствие облачности) в умеренных широтах были рассчитаны значения дефицита ОСО ( $D_{\text{осо}}$ ), меньше которых величины ОСО обуславливают высокую УФ-облученность. На рис. 2 представлены расчеты  $D_{\text{осо}}$  для УФИ=8 для широт 45–60° с.ш. в период апрель–сентябрь. Высокая облученность (УФИ=8), как следует из рис. 2, может наблюдаться, к примеру, 5 апреля на широте 45° с.ш. при ОСО ≤ 270 е.Д., а на широте 60° с.ш. – при ОСО ≤ 200 е.Д.; 22 июня (максимальная в году высота Солнца) на широте 45° с.ш. при ОСО ≤ 320 е.Д., на широте Москвы – при ОСО ≤ 300 е.Д.

В контексте обсуждения заметим, что в имеющем повышенную мутность атмосферы Московском мегаполисе (56° с.ш.), по результатам наблюдений УФ-радиации на станции МГУ, даже по среднемесячным величинам с мая по июль максимальные величины УФИ близки к значению 6 [9]. Это указывает на возможность неблагоприятного воздействия геофизических факторов на здоровье населения г. Москвы.

Представленные на рис. 2 результаты проведенных нами расчетов отражают известную закономерность: с уменьшением широты увеличивается риск УФ-облученности, и важно иметь представление об уровне ОСО, ниже которого содержание озона становится опасным. Видно, что на пике сезонного притока УФ-радиации (июнь–июль) в умеренных широтах (50–55° с.ш.) «очень высокая» УФ-облученность

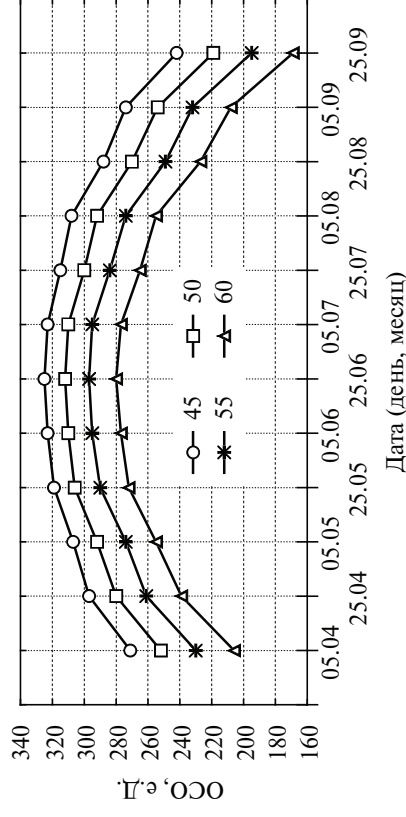


Рис. 2. Линии максимальных величин  $D_{\text{осо}}$  для УФИ=8 при ясном небе (45–60° с.ш.)

(УФИ=8) в отсутствии облаков может наблюдаться при значениях ОСО меньше 300 е.Д., а в низких широтах, около 45° с.ш., это возможно при ОСО до 320 е.Д.

Из анализа рис. 2 сделаны оценки возможного появления опасного ультрафиолетового воздействия на территории России с использованием среднемесячных величин ОСО при «идеальных» условиях: безоблачная сухая погода, отсутствие явлений, связанных со значительным увеличением аэрозоля в воздухе (природные и техногенные пожары, вулканическая пыль и др.). Получено, что УФИ=8 может наблюдаться в июне–июле на территории республик Северного Кавказа, в Краснодарском и Ставропольском краях, в Ростовской, Волгоградской и Астраханской областях, в Калмыкии, в Республике Алтай и Республике Тыва, на юге Бурятии и Забайкальского края. В августе арал с возможностью появления УФИ=8 ограничивается республиками Северного Кавказа, Краснодарским и Ставропольским краями. С сентября по апрель на территории России опасность высокой УФ-облученности отсутствует (здесь не рассматриваются высокогорные районы).

В 2009 году, как показал анализ спутниковых и наземных данных ОСО на территории России [4], повышенная УФ-облученность (УФИ больше 6) наблюдалась в широтном поясе 50–55° с.ш. в около-

полуденные часы при ясном небе в Красноярском крае – 2–3 июня, в Поволжье – 14–15 июня, в центре ЕТР – 25–26 июня, в Иркутской и Читинской областях – 2–4 июля, на ЕТР и Урале – 15–23 июля, на Урале и Поволжье – 27–31 июля, в Приамурье и на Сахалине – 10–11 августа, в Поволжье – 29–31 августа. Хотя такие события редки, они наблюдаются практически ежегодно.

### Основные выводы

По сравнению со средними величинами ОСО в период 1974–1984 гг., уровень ОСО в последние пять лет в среднем понизился на 20–30 е.Д. Наиболее существенное уменьшение ОСО наблюдалось в апреле, наименьшее – в декабре. Больше, чем в других регионах, уменьшение ОСО в последние пять лет наблюдалось на ЕТР.

С мая по август ежегодно на территории России имеют место эпизоды с дефицитом ОСО и возможностью избыточного УФ-облучения. Для широтного пояса 45–60° с.ш. рассчитаны диапазоны величин общего содержания озона, указывающие на возможность высокой УФ-облученности при ясной и сухой погоде.

Выделены регионы с высоким риском УФ-облученности; УФ-индекс не менее 8 может наблюдаться в июне–июле на территории республик Северного Кавказа, в Краснодарском и Ставропольском краях, в Ростовской, Волгоградской и Астраханской областях, в Калмыкии, в Республике Алтай и Республике Тыва, на юге Бурятии и Забайкальского края, в августе – в республиках Северного Кавказа, в Краснодарском и Ставропольском краях. В средних широтах с мая по август также имеется опасность повышенной УФ-облученности со значением УФ-индекса, равным 6–7.

Проведенные исследования являются частью работ по созданию технологии краткосрочного прогнозирования УФ-облученности на территории России, главная цель которой – своевременная идентификация опасных для человека условий с точки зрения УФ-облученности.

Авторы выражают искреннюю благодарность ведущему научному сотруднику ЦАО Г.М. Крученицкому за реализацию вычислительного комплекса для расчета УФ-индекса и полезные обсуждения.

### Список литературы

1. Александров Э.Л., Израэль Ю.А., Кароль И.Л., Хргиан А.Х. Озонный щит Земли и его изменения. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 288 с.
2. Бекорюков В.И. Атлас климатических карт общего содержания и парциального давления озона. – М.: Гидрометеоиздат, 1990. – С. 184.
3. Звягинцев А.М., Ананьев Л.Б., Артамонова А.А. Изменчивость общего содержания озона над территорией России в 1973–2008 гг. // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – Том 23. – С. 190–195.
4. Звягинцев А.М., Иванова Н.С., Крученицкий Г.М., Артамонова А.А., Романюк Я.О. Содержание озона над территорией Российской Федерации в 2009 году // *Метеорология и гидрология*. – 2010. – № 2. – С. 120–126.
5. Звягинцев А.М., Иванова Н.С., Крученицкий Г.М., Кузнецова И.Н. Содержание озона над территорией Российской Федерации в первом квартале 2009 года // *Метеорология и гидрология*. – 2009. – № 6. – С. 121–125.
6. Кароль И.Л., Сыроваткина О.А., Соломатникова А.А., Шаламянский А.М. Анализ межгодовых изменений общего содержания озона над территорией России в 1973–2002 гг. по данным измерений наземных станций // *Метеорология и гидрология*. – 2006. – № 3. – С. 19–28.
7. Крученицкий Г.М., Звягинцев А.М., Иванова Н.С., Кузнецова И.Н. Содержание озона над Россией и прилегающими территориями в третьем квартале 2000 года // *Метеорология и гидрология*. – 2000. – № 11. – С. 113–120.
8. Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://meteoeff.ru>.
9. Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы (по наблюдениям Метеорологической обсерватории МГУ). Том 1. – М.: Изд. МГУ, 2003. – С. 308.
10. Сыроваткина О.А., Кароль И.Л., Шаламянский А.М., Клягина Л.П. Межгодовые особенности формирования полей общего содержания озона в высоких широтах Северного полушария в ноябре–марте 1998–2005 гг. // *Метеорология и гидрология*. – 2008. – № 2. – С. 47–57.
11. Тарасенко Д.А. Структура и циркуляция стратосферы и мезосферы Северного полушария. – Л.: Гидрометиздат, 1988. – 287 с.
12. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. Том 1. – Л., Гидрометиздат, 1978. – 247 с.
13. Шаламянский А.М., Кароль И.Л., Клягина Л.П., Ромашкина К.И. Общее содержание озона над территорией Российской Федерации и прилегающих стран по 30-летним измерениям наземных станций // *Метеорология и гидрология*. – 2004. – № 8. – С. 24–35.
14. *Global Solar UV Index. A Practical Guide. Глобальный солнечный УФ-индекс. Практическое руководство*. – ВОЗ, 2002 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.who.int/uv/publications/globalindex>.