

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ОЗОнового СЛОЯ НАД РОССИЕЙ В 2011 г.

Анализ общего содержания озона (ОСО) выполнен по данным отечественной сети фильтровых озонметров М-124 с привлечением данных мировой озонметрической сети, поступающих в Мировой центр данных ВМО по озону и ультрафиолетовой радиации (WOUDC) в Канаде, а также данных спутниковой аппаратуры OMI (США). Более подробная информация о поведении ОСО в различные месяцы с указанием отдельных аномалий в различные месяцы ежеквартально публикуется в журнале «Метеорология и гидрология».

ОСО является важнейшей характеристикой озонового слоя, которая определяет поглощение ультрафиолетового (УФ) излучения Солнца в области длин волн 290-315 нм (так называемая УФ-Б область). Количественно ОСО выражают приведенной толщиной слоя озона, которая получилась бы, если бы весь содержащийся в атмосфере озон привести к нормальному давлению и температуре 0° С. В среднем по земному шару она равна 3 мм, но может изменяться от 1 мм (в Антарктиде в период весенней озоновой аномалии) до 6 мм (в конце зимы – начале весны над Дальним Востоком). ОСО измеряют в так называемых единицах Добсона (е.Д.); приведенная толщина слоя озона 3 мм соответствует 300 е.Д.

В целом за 2011 г. поле отклонений среднегодовых значений ОСО от нормы (рис. 1), в основном, отрицательное и на большей части контролируемой территории отклонения ниже -5 %. Для всех станций наблюдений ОСО эти отклонения лежат в интервале от -16 до +2 %. Наибольший дефицит среднегодовых значений ОСО (-16 %) зарегистрирован на станции Тура. Единственное превышение среднегодовых значений ОСО над нормой (+2 %) зарегистрировано на станции Феодосия.

В течение 2011 г. отдельные существенные отклонения ежедневных значений ОСО от нормы отмечались в январе, марте и апреле:

- с 21 по 23 января пониженные на 35-40 % значения ОСО на территории от восточных районов Якутии до Чукотки включительно (270-305 е.Д.).

- с 15 марта по 23 апреля пониженные на 28-50 % значения ОСО над островами и побережьем Северного Ледовитого океана, Красноярским краем, Иркутской областью, Якутией и восточнее до Чукотки, Камчатки и Сахалина включительно, а также над Западной и Центральной Сибирью и Казахстаном (233-300 е.Д.).

Долговременные изменения ОСО над территорией России иллюстрируются ходом среднегодовых значений на отдельных станциях наблюдений (рис. 2). На всех российских станциях ОСО в 2011 г. было заметно ниже, чем в предыдущем году, и близко к абсолютным минимумам, которые наблюдались в период с 1992 по 1997 г. Ход ОСО в целом над станциями наблюдений в России удовлетворительно согласуется со среднезональным ходом ОСО в средних широтах Северного полушария (35–60° с.ш.).

Столь низкие среднегодовые значения ОСО в 2011 г. связаны с тем обстоятельством, что весной в высоких широтах Северного полушария была зарегистрирована одна из самых значительных озоновых аномалий за все время полувековых наблюдений. В течение большей части своего существования она располагалась над обширными территориями на севере западной и центральной Сибири (рис. 3). Близкая по характеристикам аномалия наблюдалась лишь в 1997 г. По данным спутниковой аппаратуры TOMS/SBUV среднее в широтном поясе 60-80° с.ш. ОСО в марте составило ~350 е.Д., до этого рекордно низкое ОСО ~360 е.Д. здесь наблюдалось лишь в 1997 г. В отдельные дни ОСО в некоторых областях опускалось почти до 230 е.Д. Низкие значения ОСО наблюдались на протяжении всего года и в Западной Европе. Возникновение столь значительной озоновой аномалии было обусловлено крайне редко наблюдаемой необычной динамикой Арктической стратосферы в марте. Активность тропосферных планетарных волн была необычно слабой, что привело к возникновению более холодного, чем обычно, сильного и стабильного циркумполярного вихря, который разрушился сравнительно поздно – во второй половине апреля. Внутри этого вихря общие потери ОСО составили примерно 130 е.Д.; на высотах 18-20 км отношение смеси озона уменьшалось почти в 5 раз. Факт истощения озонового слоя иллюстрируют вертикальные профили озона над станцией Салехард (рис. 4) в начале

аномалии (15.03.11) и в ее конце (13.04.11). Вместе с тем их сравнение с озоновой аномалией 2011 г. в Антарктиде (Южный полюс, 02.10.11) показывает, что по величине дефицита массы озона арктические аномалии несопоставимы с антарктическими. Средние за февраль и март температуры в Арктической полярной стратосфере были одними из самых низких зарегистрированных температур, сравнимыми лишь с наблюдавшимися в 1997 г. (рис. 5) Аномалия ОСО весной 2011 г. в высоких широтах Северного полушария не может быть объяснена аномалиями таких связанных с климатом факторов, как Арктическое (Североатлантическое) колебание, квазидвухлетние колебания, Эль-Ниньо - Южное колебание. По мнению некоторых авторитетных зарубежных исследователей, наблюдавшаяся аномалия ОСО обусловлена, в первую очередь, необычно теплой поверхностью Тихого океана в субарктической области. Образовавшаяся в марте аномалия обусловила пониженные значения ОСО и в последующие месяцы вплоть до конца осени, хотя и не столь значительные. Это объясняется тем, что интенсивность меридионального переноса озона из тропических озонопродуцирующих зон оказалась недостаточной для того, чтобы полностью восполнить образовавшийся весной дефицит.

Как и в последние 25 лет, также имела место весенняя Антарктическая озоновая аномалия (ВАОА) – с августа по декабрь. Основной объем данных о характеристиках ВАОА (максимальная площадь, минимальное значение ОСО в ней и общий дефицит озона за время существования ВАОА) получают с помощью спутниковых наблюдений аппаратурой производства США и западноевропейских стран. Площадь, занятой ВАОА, считают площадь территории, над которой ОСО меньше 220 е.Д., ее временной ход в 2011 г., по данным НАСА, США, приведен на рис. 6. В отличие от арктических аномалий озона, где от поверхности Земли до высоты 30 км наблюдается практически непрерывный рост отношения смеси озона, ВАОА характеризуется провалом в диапазоне высот 14-22 км в вертикальных профилях парциального давления p_z и отношения смеси озона r_z в 100 и более раз (рис. 4). Показатели ВАОА 2011 г. уступают рекордным показателям ВАОА, наблюдаемым в конце 1990-х гг.; тем не менее, ВАОА 2011 г. была несколько сильнее средней за последнее десятилетие и заметных особенностей не имела.

Прогноз сроков восстановления озонового слоя над Антарктидой сложен и плохо предсказуем, в первую очередь, из-за недостаточного количественного (а возможно, даже и качественного) понимания механизмов, обуславливающих основные характеристики ВАОА. Хотя в 2011 г. появилась первая публикация, в которой сообщено об обнаружении признаков восстановления озонового слоя в районе наблюдений ВАОА, представляется, что в настоящее время возможно говорить лишь о стабилизации основных характеристик ВАОА. По мнению ряда специалистов, первые статистически достоверные признаки восстановления озонового слоя над Антарктидой появятся, вероятно, примерно через 10 лет.

С учетом того, что, во-первых, метеорологические условия 2011 г. в стратосфере высоких широт Северного полушария оказались сильно аномальными и, во-вторых, продолжающимся уменьшением содержания хлорфторуглеродов в стратосфере, в будущем следует ожидать дальнейшего восстановления озонового слоя, в т.ч., над территорией Российской Федерации.

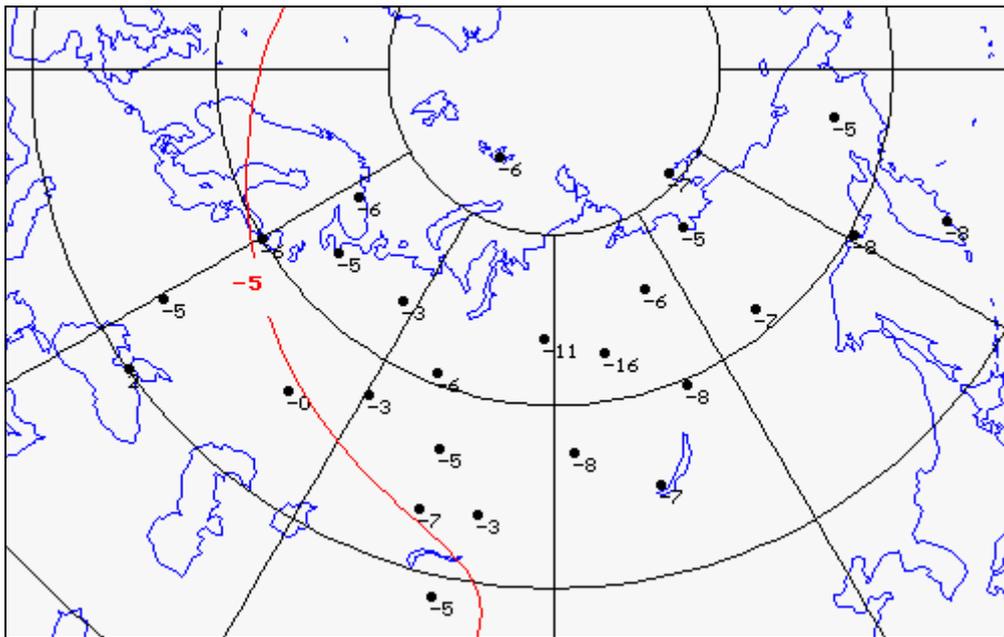


Рис. 1. Поле отклонений (%) общего содержания озона от многолетних средних в целом за 2011 г. по данным озонометрической сети СНГ.

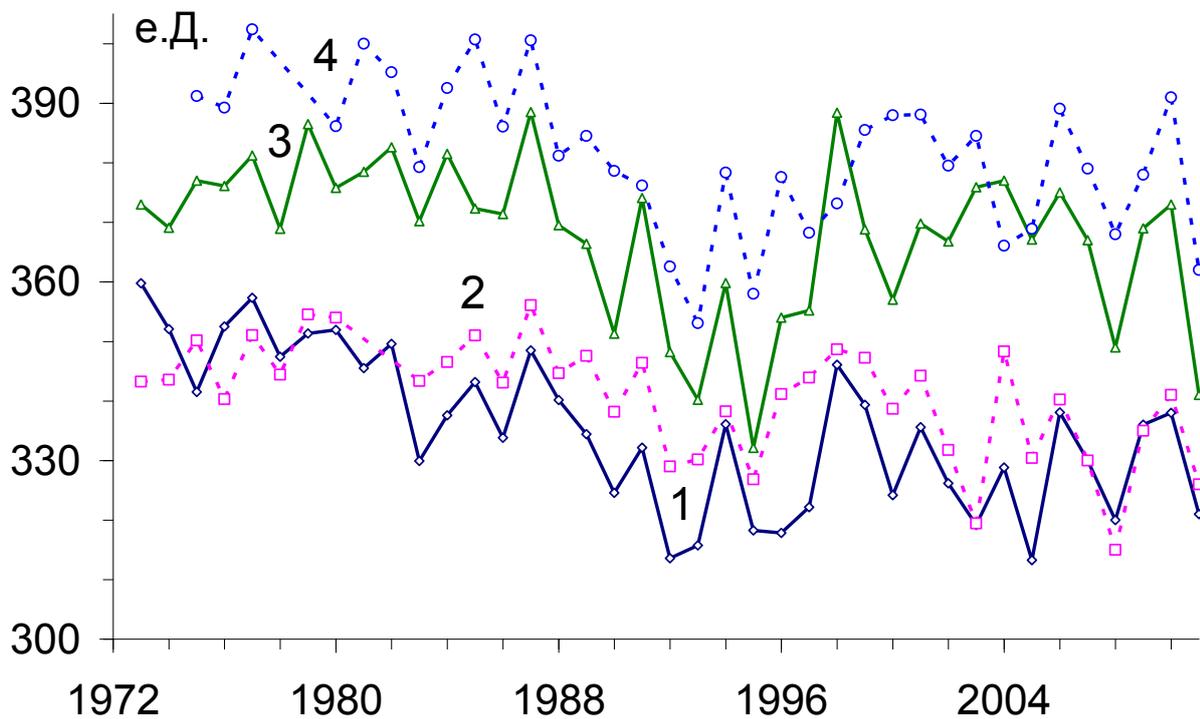


Рис. 2. Ход среднегодовых значений ОСО на станциях наблюдений С.-Петербург (1; 60° N, 30° E), Екатеринбург (2; 57° N, 61° E), Якутск (3; 62° N, 130° E), Нагаево (4; 60° N, 151° E). За период 1973-2006 г.г. использованы данные станций, за 2007-2011 г.г. – данные OMI.

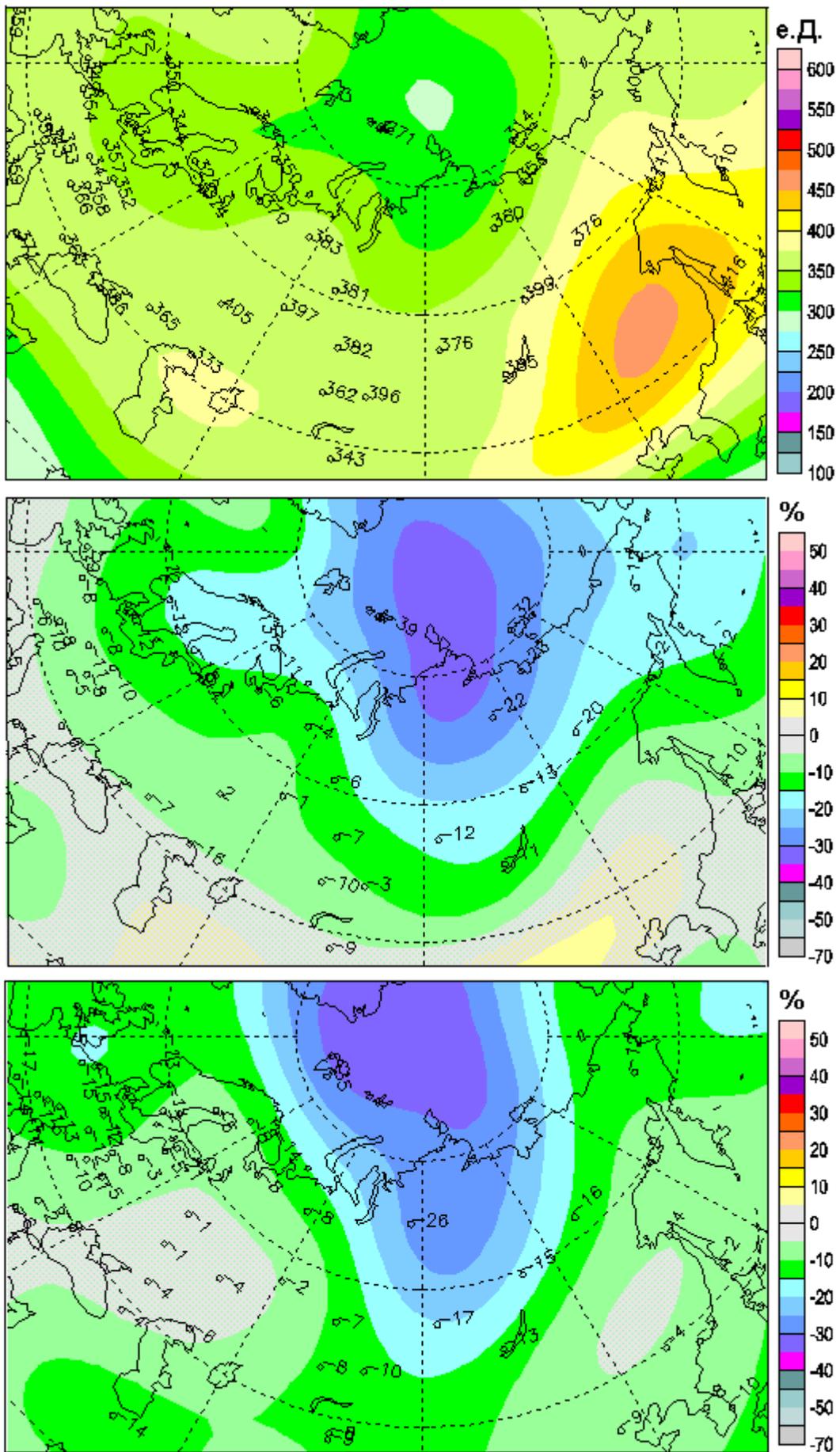


Рис. 3. Поле общего содержания озона (е.Д.;верху) в марте 2011 г. и его отклонения (%) в 2011 (в середине) и 1997 гг. (внизу) от соответствующих средних значений за 1978-1988 гг. по данным WOUDC, Канада

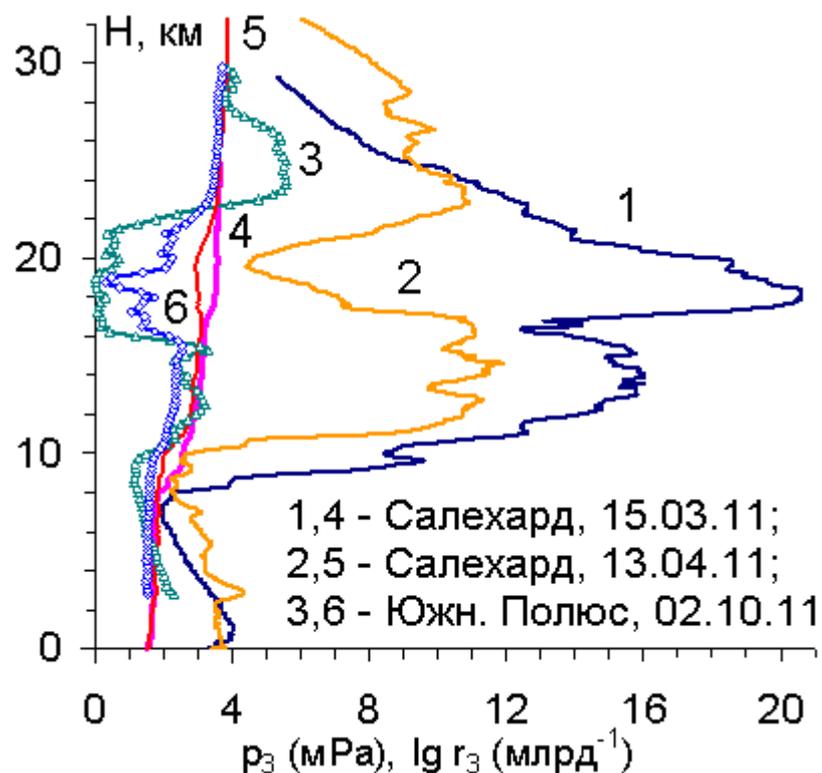


Рис. 4. Профили вертикального распределения парциального давления озона p_3 (1-3) и логарифма его отношения смеси $\lg r_3$ (4-6) на станциях Салехард (67° N , 67° E) и Южный Полюс (90° S) по данным Manney G. L., et. al. Nature 478, p.p. 469-475, 2011.

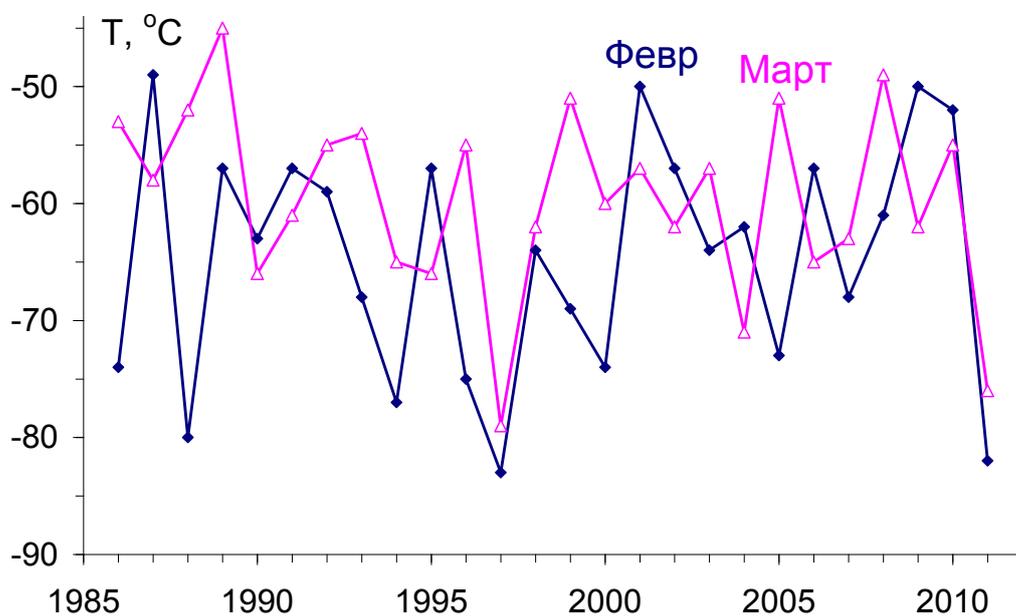


Рис. 5. Межгодовой ход среднемесячных температур в феврале и марте на уровне 30 гПа (около 25 км) над Северным полюсом по данным Свободного университета г. Берлина, Германия.

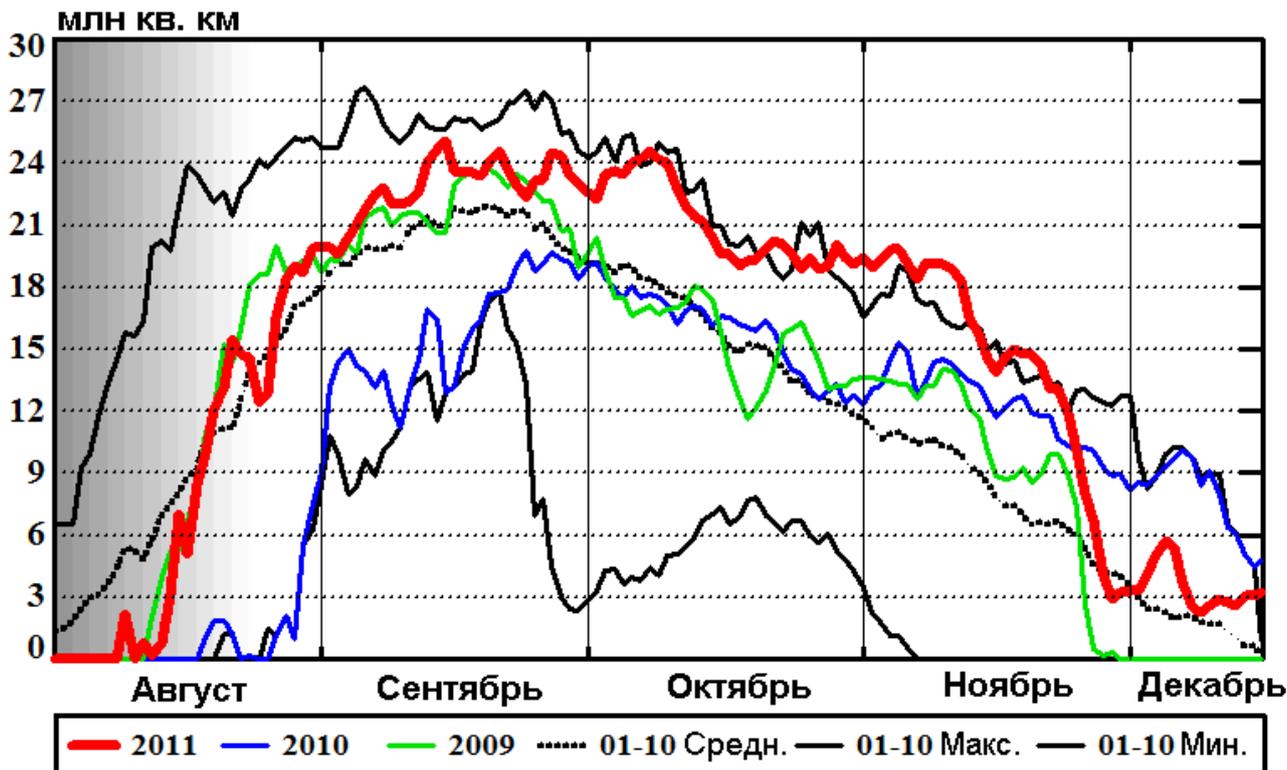


Рис. 6. Площадь весенней Антарктической озоновой аномалии в различные периоды времени 2011 г. по данным аппаратуры SBUV/2 с сайта NOAA, США (наибольшая ВАОА наблюдалась в 1998 г.; для периода 2001-2010 гг. приведены средняя, максимальные и минимальные площади ОСО для каждого календарного дня).