

УДК 504.3.054

ОПЕРАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА

М.И. Нахаев, И.Н. Кузнецова, И.Ю. Шалыгина

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва
muratmeteo@mail.ru*

Кратко описаны разработанные в Гидрометцентре России технологии прогноза некоторых показателей качества воздуха, основанные на использовании результатов расчетов численных моделей атмосферы и химических транспортных моделей. Иллюстрируется комплексная оценка комфортности погодных условий и максимально возможного уровня ультрафиолетовой облученности. Отражена готовность применения системы COSMO-Ru7-ART для оперативных расчетов распространения пирогенных загрязнений с использованием спутниковой информации. Демонстрируются рассчитанные ХТМ SHIMERE прогностические поля концентраций загрязняющих веществ в Московском регионе.

Ключевые слова: индекс ультрафиолетовой радиации, комфортность погоды, качество воздуха, прогноз, химическая транспортная модель.

В отличие от опасных явлений погоды (ливень или снегопад, жара или мороз, штормовой ветер, гроза и т. д.), ухудшение качества окружающей среды вследствие изменения газового состава приземного воздуха может остаться незамеченным, как и избыточный приток ультрафиолетовой радиации, зафиксировать который возможно лишь по измерениям специальными приборами. К числу показателей качества приземного воздуха относятся загрязнение приземного воздуха, метеорологические условия рассеивания вредных примесей, включая неблагоприятные для очищения воздуха метеоусловия (НМУ), ультрафиолетовая облученность, выраженная индексом ультрафиолетовой радиации (УФИ), комфортность погоды и т. п.

Созданные в Гидрометцентре России технологии прогнозирования показателей качества окружающей среды основаны на установленных связях с атмосферными процессами и метеорологическими условиями [6]. Развитие численных моделей и разработка новых расчетных методов, рост количества наблюдений и наблюдаемых параметров атмосферы позволяют совершенствовать созданные технологии.

В настоящей работе кратко описываются технологии оперативного прогнозирования показателей качества окружающей среды с акцентом на проведенные в последние годы их совершенствования.

Оперативная технология прогнозирования ультрафиолетового индекса

Во многих зарубежных странах функционируют системы оперативного оповещения населения об уровне УФ-облученности. Например, в Канаде уже в 1992 году прогноз УФ-индекса (УФИ) стал составной частью программы прогноза погоды для населения [13]. В США служба NOAA/ЕРА предоставляет значения УФИ для 58 пунктов континентальной части США, а также на Гавайских островах, Аляске и Пуэрто-Рико. Для этих же пунктов в виде карт для каждого месяца представлены средние и максимальные за месяц значения УФИ [16]. В Германии для населения публикуются результаты ежедневного мониторинга УФИ на восьми станциях и прогноз на три дня для северной, центральной и южной Германии. Летом прогноз дается на каждый день, а зимой – на месяц [14]. В Нидерландах с 2000 года рассчитываются поля озона и прогнозы УФИ каждые 12 часов на основе близких к реальному времени значений озона (GOME) и прогнозов (ECMWF) метеорологических полей (ветер, температура, давление). Венгерская метеорологическая служба в период с мая по август представляет краткосрочный прогноз УФ-Б на следующий день для территории Венгрии. В Швеции с 1993 года в средства массовой информации каждое лето предоставляется суточный прогноз УФИ. В Финляндии озон и УФИ ежедневно прогнозируются на 24 часа (<http://en.ilmatieteenlaitos.fi>). Из стран СНГ только в Белоруссии осуществляется оперативное прогнозирование индекса УФР.

Созданная в Гидрометцентре России технология прогноза УФИ основана на отечественных разработках совместно с сотрудниками Центральной аэрологической обсерватории (ЦАО): краткосрочном прогнозе общего содержания озона (http://method.meteorf.ru/methods/pollut/ozon_r/ozon_r.html), расчетном методе прогноза УФИ (<http://method.meteorf.ru/methods/pollut/uv/uv.html>). В настоящем сборнике представляется усовершенствованный метод расчета УФИ, разработанный в ЦАО Н.С. Ивановой. Ежедневный прогноз полей максимально возможного и с учетом облачности УФИ для территории России на текущие и вторые сутки представляется на официальном сайте Гидрометцентра России (<http://meteoinfo.ru/uvi>); здесь же приводятся рекомендации Всемирной организации здравоохранения и Всемирной метеорологической службы по использованию информации для снижения риска негативного влияния УФ-радиации. С целью детализации прогноза УФИ в технологии предусмотрено представление информации для административных регионов нашей страны (рис. 1).

В соответствии с международными нормами УФИ рассчитывается для местного полудня, показывая максимально возможный уровень УФ-облученности в отсутствии облаков; вторым показателем является

УФИ, рассчитанный с учетом прогнозируемого балла облачности в период наибольшей высоты солнца.

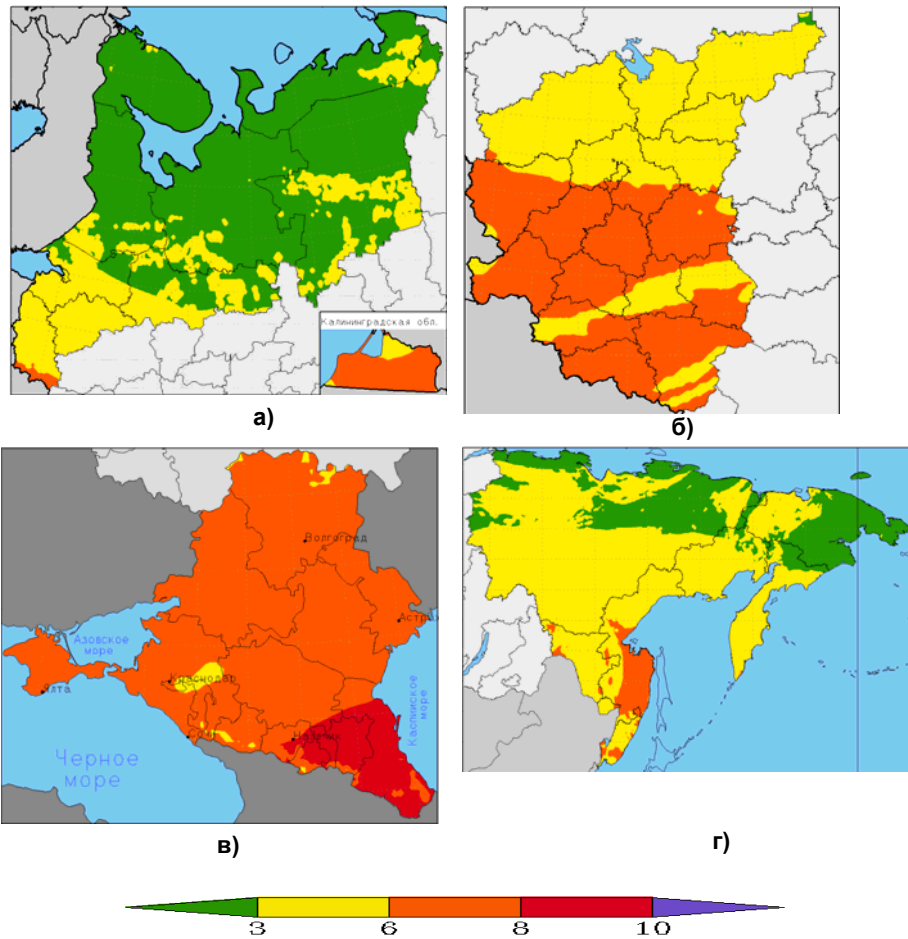


Рис. 1. Пример прогностического поля УФИ с учетом прогноза облачности для регионов: север ЕТР (а), ЦФО (б), юг ЕТР (в) Дальний Восток (г).

Регулярный мониторинг качества прогноза УФИ, осуществляемый путем сравнения прогностических величин индекса с данными измерений УФИ на озонметрической сети Росгидромета, показывает вполне удовлетворительную успешность прогноза УФИ. Усредненная по результатам сравнения в пунктах измерений величина ошибки прогноза УФИ примерно в 60 % от общего числа прогнозов не превышает 1 единицу индекса. Величина УФИ в градации 3–5 единиц рассчитывается в среднем с ошибкой 0,5, в градации 6–8 единиц – 0,4. Наибольшие ошибки методического прогноза получены в градации самого

низкого уровня УФИ (1–2 единицы); в прогнозе УФИ в таких случаях величина УФИ завышается в среднем на 1,9. Также установлено, что самые высокие из наблюдавшихся на территории страны УФИ (более 8 единиц) и крайне редко наблюдавшиеся в прогнозе недооцениваются, средняя ошибка в теплый сезон 2016 г. составила -1,3 единицы. Важно, что доля значительных ошибок прогноза УФИ (более 2 единиц) в среднем по территории страны не превышает 18–20 %.

Представление прогностической информации об УФИ главной целью имеет заблаговременное предупреждение о возможности опасной ультрафиолетовой облученности. Такая информация важна для индивидуальных решений при дефиците ультрафиолета, при планировании мероприятий на открытом воздухе, особенно для детей и людей, для которых пребывание под прямыми солнечными лучами может представлять опасность. Именно для такой категории пользователей разработана технология комплексной оценки качества окружающей среды – прогноза комфортности погоды в сочетании с максимально возможной ультрафиолетовой облученностью.

Прогноз комфортности погоды в сочетании с ультрафиолетовой облученностью

Для характеристики влияния погоды на человека разработано множество интегральных показателей – индексов комфортности [9, 17]. Опытным путем было установлено, что одинаковое теплоощущение можно испытывать при самых различных сочетаниях метеорологических элементов, в первую очередь сочетаниях температуры и относительной влажности воздуха, при которых эффект теплоотдачи и теплоощущения будет одинаковым. Одним из широко известных показателей комфортности погоды является эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ), для расчетов которого используется влажность и температура воздуха, а также скорость ветра [1, 2]. Недостатком показателя ЭЭТ является недоучет теплоощущения от нагревания солнечной радиацией. Е.Г. Головина [5] предложила усовершенствованный показатель – радиационно-эквивалентно-эффективную температуру (РЭЭТ), который применяют в гелиотерапии.

В Гидрометцентре России подготовлена технология совместного представления комфортности погоды и ультрафиолетовой облученности на основе прогностических полей УФИ и ЭЭТ. Для расчетов индекса комфортности ЭЭТ используются прогностические данные модели COSMO-Ru7. Пример комплексной карты территории Центрального федерального округа представлен на рис. 2, где заливкой обозначен индекс комфортности температуры, а величина максимально возможного УФИ с учетом прогноза облачности отображается в виде кружков, цвет которых соответствует рекомендациям ВОЗ по отображению степени опасности ультрафиолетовой облученности.



Рис. 2. Прогностическое поле уровня комфортности и УФИ в пунктах.

Прогноз метеорологического показателя рассеивания вредных примесей

Загрязнение атмосферного воздуха определяется количеством выбросов примеси в атмосферу, химическим образованием новых загрязняющих веществ и метеорологическими условиями. Как правило, день ото дня среднее количество выбрасываемых в атмосферу вредных примесей изменяется мало; короткопериодные флуктуации содержания малых газовых примесей и аэрозолей в основном определяются процессами синоптического и мезомасштаба. Современные численные модели атмосферы позволяют с высоким пространственно-временным разрешением прогнозировать метеорологические характеристики в пограничном слое атмосферы, в т. ч. характеристики термического и динамического перемешивания, влияющие на рассеивание примеси, а также осадки.

По результатам проведенных исследований связей изменчивости антропогенного загрязнения (CO , NO_x и PM_{10}) приземного воздуха, данные о котором получены с сети автоматизированных наблюдений за загрязнением в Московском регионе (www.mosecom.ru), в Гидрометцентре России разработан метод расчета метеорологического показателя рассеивания примеси и загрязнения приземного воздуха (МПРЗ) [6]. МПРЗ описывает динамический диапазон влияющих на загрязнение воздуха атмосферных процессов, разделяя его на три группы

интенсивности рассеивания: интенсивное, умеренное и слабое рассеивание. К третьей группе (слабое рассеивание) относятся условия термической устойчивости, слабого ветра в атмосферном пограничном слое, отсутствие осадков и признаков смены воздушной массы, что в совокупности соответствует неблагоприятным для очищения воздуха метеорологическим условиям (НМУ), которые сопровождаются значительным повышением уровня загрязнения воздуха с высокой вероятностью образования высоких концентраций загрязняющих веществ (<http://method.meteorf.ru/methods/pollut/air.ppt>).

На основе разработанного метода в Гидрометцентре России создана технология оперативного прогноза полей МПРЗ с использованием данных модели атмосферы COSMO-Ru7. Сегодня прогноз МПРЗ рассчитывается для каждого часа на двое суток вперед и визуализируется в виде карт для областей ЦФО (рис. 3). Учитывая характерную внутрисуточную динамику метеорологических условий и антропогенного загрязнения, отдельно рассчитывается преобладающий тип МПРЗ для 6-часовых временных интервалов (вечер, ночь, утро и день) и представляется на сайте Гидрометцентра (http://meteoinfo.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=11082).

Открытый доступ к прогностическим полям МПРЗ позволяет специалистам в УГМС, осуществляющим прогнозирование загрязнения воздуха в городах на подведомственной территории, использовать прогноз МПРЗ в качестве объективного синоптического предиктора, в т. ч. для прогноза НМУ и при составлении штормовых предупреждений. В настоящее время метод прогноза МПРЗ/НМУ проходит независимую проверку в Центральном УГМС и некоторых его филиалах.

Технологии численного прогноза загрязнения приземного воздуха

Большинство стран зарубежной Европы сегодня обеспечены прогнозами качества воздуха на основе данных концентраций загрязняющих веществ, рассчитанных химической транспортной моделью (ХТМ). Обзор используемых в Европе ХТМ, их преимущества и недостатки многосторонне анализируются в [15]. Некоторые модели, например ХТМ SILAM (<http://silam.fmi.fi/index.html>), EURAD (http://www.uni-koeln.de/math-nat-fak/geom/eurad/index_ref.html) охватывают расчетами западные территории России, что может быть использовано для сравнений с данными на станциях российского мониторинга.

В нашей стране разработка ХТМ проводится в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО) [4]. Созданная в Гидрометцентре России оперативная технология прогноза концентраций загрязняющих веществ для центральных областей европейской

части России основана на расчетах химической транспортной модели CHIMERE [7, 8] и системы COSMO-Ru7-ART [3], использующих в качестве входных данных прогностические метеорологические поля одной модели атмосферы COSMO-Ru7 [10].

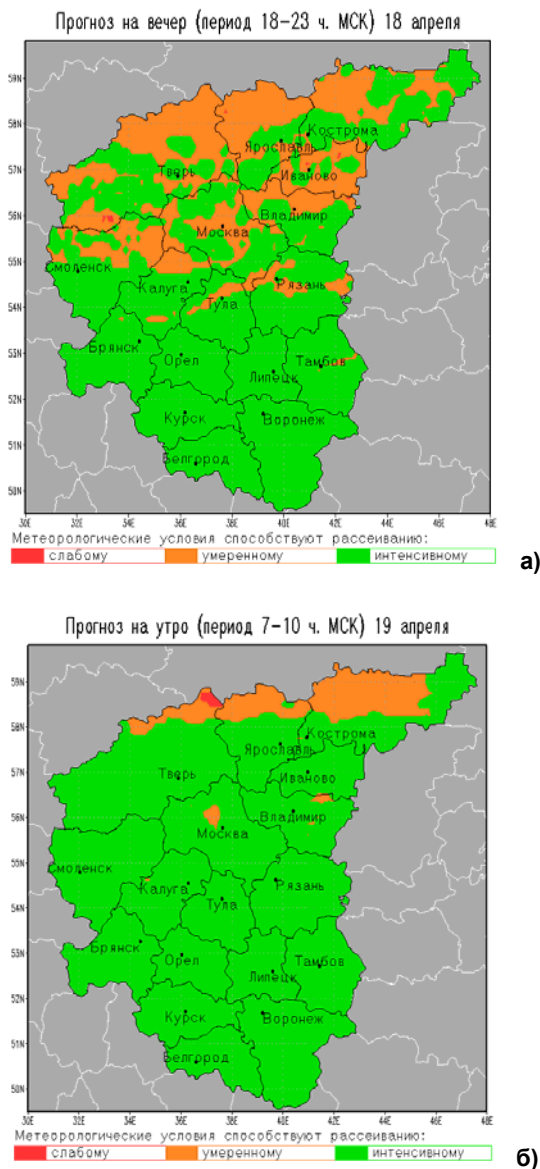


Рис. 3. Прогноз метеорологических условий рассеивания вечером (а) и утром (б) с использованием прогностических метеорологических данных модели атмосферы COSMO-Ru7 с горизонтальным разрешением 7 км.

В системе COSMO-Ru7-ART разработана и апробирована по данным наземных измерений технология прогнозирования загрязнения воздуха для оценки распространения загрязнения от природных пожаров с использованием разработанной методики учета пирогенных эмиссий по оперативным спутниковым данным [11].

В режиме регулярного счета прогностические поля концентраций загрязняющих веществ, рассчитанные XTM CHIMERE на текущие и вторые сутки, представляются на сайте Гидрометцентра России (рис. 4).

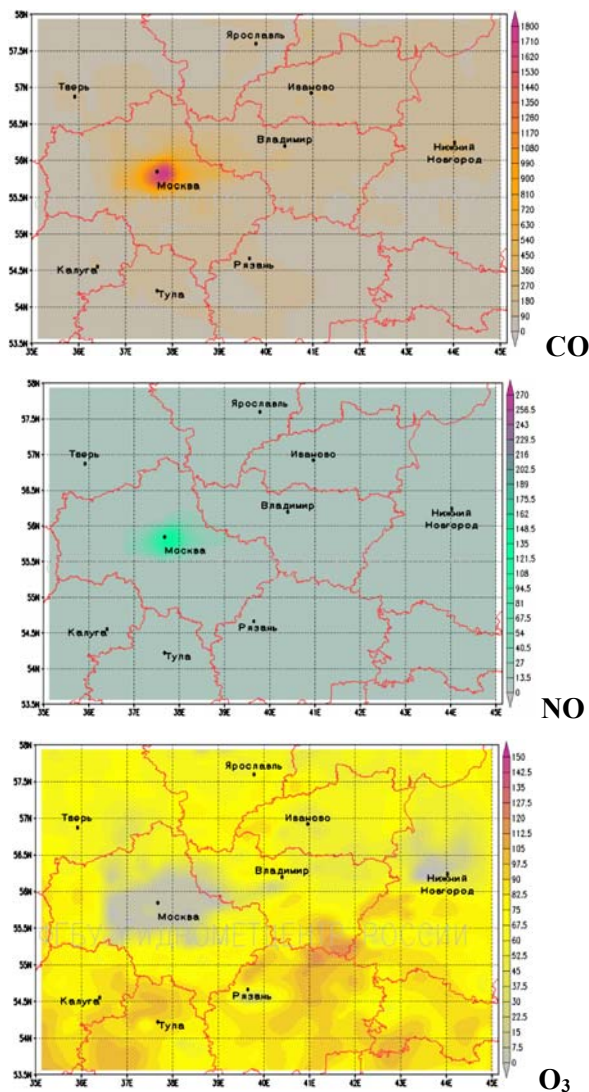


Рис. 4. Прогностические поля часовой концентрации CO, NO, O₃ (мкг м⁻³), рассчитанные XTM Chimere (<http://meteoinfo.ru/index.php?option>).

Для практического использования результатов численного прогнозирования качества воздуха необходимо знать степень неопределенности, погрешности модельных расчетов, которые являются следствием неточности используемых данных эмиссий, ошибок прогноза метеорологических параметров, упрощения параметризаций процессов подсеточного масштаба и т. д. Установление качества расчетов ХТМ регулярно осуществляется по данным автоматизированных измерений концентраций загрязняющих веществ на станциях Мосэкомониторинг [12]. Сравнение модельных расчетов с измеренными концентрациями позволяет получить представление о диапазоне ошибок, выявить характерные и систематические отклонения модельных расчетов от измеренных концентраций, которые являются основой для разработки подходов и способов постобработки модельных расчетов, а также проведения исследований по оптимизации.

Заключение

Разработанные в Гидрометцентре России технологии прогнозирования УФ-индекса, уровня комфортности погоды, показателя интенсивности рассеивания загрязняющих веществ, включая НМУ и загрязнения воздуха, основаны на использовании продукции численных моделей атмосферы и химических транспортных моделей. Открытый доступ к прогнозируемым показателям качества воздуха предназначен для использования информации с целью применения населением защитных мер в случаях ожидания опасных для здоровья уровней ультрафиолетовой радиации и загрязнения приземного воздуха.

Поступила в редакцию 30.06.2017 г.

Список использованных источников

1. *Айзенитат Б.А.* Метод расчета некоторых биоклиматических показателей // Метеорология и гидрология. 1964. № 12. С. 9–16.
2. *Айзенитат Б.А., Айзенитат Л.Б.* Формула для расчета эквивалентно-эффективной температуры // Вопросы биометеорологии. 1974. № 20 (101). С. 81–83.
3. *Вильфанд Р.М., Кирсанов А.А., Ревокатова А.П., Ривин Г.С., Суркова Г.В.* Прогноз перемещения и трансформации загрязняющих веществ в атмосфере с помощью модели COSMO-ART // Метеорология и гидрология. 2017. № 5. С. 31–40.
4. *Генихович Е.Л., Грачева И.Г., Зив А.Д., Румянцев Д.Ю.* Разработка мезомасштабной региональной химической транспортной модели ГГО (ХТМ_ГГО) // Труды ГГО. 2016. Вып. 580. С. 54–81/
5. *Головина Е.Г., Трубина М.А.* Методика расчетов биометеорологических параметров (индексов). СПб., 1997. 110 с.
6. *Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Нахаев М.И., Глазкова А.А., Захарова П.В., Лезина Е.А., Звягинцев А.М.* Неблагоприятные для качества воздуха метеорологические факторы // Труды Гидрометцентра России. 2014. Вып. 351. С. 154–172.

7. Нахаев М.И., Березин Е.В., Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н. и др. Экспериментальные расчеты концентрации PM_{10} и CO комплексом моделей CHIMERE и COSMO-Ru07 // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 6. С. 485-492.
8. Нахаев М.И., Березин Е.В., Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н., Коновалов И.Б., Блинов Д.В. Прогнозирование концентраций загрязняющих веществ в атмосфере с применением химической транспортной модели CHIMERE и модели COSMO-Ru7 // Труды Гидрометцентра России. 2015. Вып. 357. С. 146-164.
9. Качук С.В. Обзор индексов степени комфортности погодных условий и их связь с показателями смертности // Труды Гидрометцентра России. 2012. Вып. 347. С. 194-214
10. Ривин Г. С., Розинкина И. А., Вильфанд Р. М., Алферов Д. Ю. и др. Система COSMO-Ru негидростатического мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России: второй этап реализации и развития // Метеорология и гидрология. 2015. № 6. С. 58-70.
11. Суркова Г.В., Блинов Д.В., Курсанов А.А., Ревокатова А.И., Ривин Г.С. // Моделирование распространения шлейфов воздушных загрязнений от очагов лесных пожаров с использованием химико-транспортной модели COSMO-Ru7 ART // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27, № 1. С. 75-81.
12. Шалыгина И.Ю. Нахаев М.И., Кузнецова И.Н., Березин Е.В., Коновалов И.Б., Блинов Д.В., Курсанов А.А. Сравнение рассчитанных с помощью химических транспортных моделей приземных концентраций загрязняющих веществ с данными измерений в Московском регионе // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 1. С. 1-7
13. Burrows W.R., Vallee M., Wardle D.I., Kerr J.B., Wilson L.J. & Tarasick D.W. The Canadian operational procedure for forecasting total ozone and UV radiation // Meteorol. Appl. 1994. Т. 1. P. 247-265.
14. German Meteorological Service. UV Index Forecasting. Sept. 2015.
15. Kukkonen J., Olsson T., Schultz D.M., Baklanov A., Klein T. et al. // A review of operational, regional-scale, chemical weather forecasting models in Europe // Atmos. Chem. Phys. 2012. Vol. 12, No. 1. P. 1-87.
16. Long C.S., Miller A.J., Lee H-T., Wild J.D., Przywarty R.C., Hufford D. / Ultraviolet Index Forecasts Issued by the National Weather Service // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1996. Vol. 77, No. 4. P. 729-48.
17. Tkachuk (Emelina) S. System of weather comfort forecasting // 12th EMS Annual Meeting and 9th European Conference on Applied Climatology. Lodz, Poland. 2012.

SUMMARIES

The operational technologies for forecasting ground air quality indicators / Nahaev M.I., Kuznetsova I.N., Shalygina I.Yu. // Proceedings of the Hydrometcentre of Russia. 2017. Vol. 365. P. 71-80.

An overview of the developed in the Hydrometcentre of Russia technologies for forecasting some indicators of air quality is presented. These technologies are based on the use of data from numerical models of the atmosphere and chemical transport models. A comprehensive assessment of weather comfort conditions and highest possible level of UV irradiance is demonstrated. The readiness of the COSMO-Ru7-ART system application for operational calculations of the distribution of pyrogenic contaminations with the use of satellite information is shown. Fields of concentrations of pollutants in the Moscow region as the result of the calculations using CTM CHIMERE are demonstrated.

Keywords: ultraviolet radiation index, weather comfort, air quality, forecast, chemical transport model.