

УДК 551.578.7

DOI: [10.46698/VNC.2021.16.85.013](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.16.85.013)

Оригинальная статья

О возможности использования выходной продукции глобальной модели атмосферы GFS NCEP в экологических исследованиях

М.Ч. Залиханов , А.Х. Кагермазов , Л.Т. Созаева , К.М. Беккиев ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия, 360030,
г. Нальчик, пр. Ленина, 2, e-mail: ljc_62@rambler.ru

Статья поступила: 11.10.2021, после рецензирования: 30.11.2021, принята к публикации: 05.12.2021

Резюме: Проведена оценка степени совпадения прогностических значений стратификации атмосферы с нарастающей заблаговременностью 24 часа, полученных из глобальной модели атмосферы GFS NCEP (Global Forecast System National Centers for Environmental Prediction) с фактическими данными аэрологического зондирования на основе корреляционного анализа. **Актуальность работы** заключается в том, что в настоящее время количество опасных природных явлений продолжает увеличиваться, в том числе и загрязнение атмосферы примесями, приводящими к глобальному потеплению. При прогнозировании опасных явлений для экологии входными данными являются значения полей метеопараметров по фактическим данным аэрологического зондирования атмосферы. Такие данные доступны только на отдельных метеостанциях, расположенных достаточно далеко друг от друга, что усложняет проведение исследований. Между тем инструменты для анализа и оценки распространения и рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере в настоящее время получили значительное развитие. Сдерживающим фактором их более широкого применения заинтересованными структурами по прогнозированию качества воздуха, аварийно-спасательными службами, представителями авиации, государственными учреждениями и сообществом исследователей атмосферы является недостаток информации о текущем состоянии атмосферы, а также получение прогностических метеопараметров. Для решения этой проблемы предлагаются использовать данные глобальной модели атмосферы GFS NCEP. **Целью исследования** является определить правомерность замены фактических данных аэрологического зондирования атмосферы на прогностические поля стратифицированных метеопараметров из глобальной модели атмосферы. **Методом исследования** является один из методов статистического анализа данных – корреляционный анализ. **В результате исследований** получено, что коэффициенты корреляции между прогностическими и фактическими значениями температуры воздуха, температуры точки росы, скорости и направления ветра имеют высокие значения. Это делает возможным использование данных глобальной модели при математическом моделировании распространения загрязнения в атмосфере, а также прогнозе опасных стихийных явлений, таких как паводок, сильный ливень, град, сель, приводящих к нарушению природных экологических систем.

Ключевые слова: глобальная модель атмосферы, аэрологическое зондирование, заблаговременность, метеорологические параметры, коэффициент корреляции, загрязнение атмосферы.

Для цитирования: Залиханов М.Ч., Кагермазов А.Х., Созаева Л.Т., Беккиев К.М. О возможности использования выходной продукции глобальной модели атмосферы GFS NCEP в экологических исследованиях. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11(4): 161-169. DOI: [10.46698/VNC.2021.16.85.013](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.16.85.013).

DOI: [10.46698/VNC.2021.16.85.013](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.16.85.013)

Original paper

About the possibility of using the output data of the global atmosphere model GFS NCEP in ecological research

M.Ch. Zalikhanov , A.Kh. Kagermazov , L.T. Sozaeva , K.M. Bekkiev 

High-Mountain Geophysical Institute, 2 Lenin Ave, Nalchik 360030, Russian Federation,
e-mail: ljk_62@rambler.ru

Received: 11.11.2021, revised: 30.11.2021, accepted: 05.12.2021

Abstract: The degree of matching of the predictive values of atmosphere stratification with an increasing lead time of 24 hours obtained from the global atmosphere model GFS NCEP (Global Forecast System National Centers for Environmental Prediction) and the actual data of aerological sounding based on correlation analysis was assessed. **The relevance of the work** lies in the fact that at present the number of natural hazards continues to increase, including atmospheric pollution with impurities leading to global warming. When predicting dangerous phenomena for the environment, the input data are the values of the fields of meteorological parameters based on the actual data of the aerological sounding of the atmosphere. Such data is available only at individual weather stations located far enough apart from each other, which complicates the research. Meanwhile, tools for analyzing and assessing the spread and dispersion of pollutants in the atmosphere have now received significant development. A limiting factor in their wider use by interested structures for predicting air quality, emergency services, aviation representatives, government agencies and the community of atmosphere researchers is the lack of information about the current state of the atmosphere, as well as obtaining predictive meteorological parameters. To solve this problem, data from the global atmosphere model GFS NCEP are proposed. **The aim of the study** is to determine the validity of replacing the actual data of the aerological sounding of the atmosphere with the predictive fields of stratified meteorological parameters from the global atmosphere model. **The research method** is correlation analysis, one of the methods of statistical data analysis. **As a result of the research**, it was found that the correlation coefficients between the predictive and actual values of air temperature, dew point temperature, wind speed and direction have high values. This makes it possible to use the data of the global model in mathematical modeling of atmospheric pollution, as well as the forecast of dangerous natural phenomena, such as floods, heavy rain, hail, mudslides, leading to disruption of natural ecological systems.

Keywords: global atmosphere model, aerological sounding, lead time, meteorological parameters, correlation coefficient, atmospheric pollution.

For citation: Zalikhanov M.Ch., Kagermazov A.Kh., Sozaeva L.T., Bekkiev K.M. About the possibility of using the output data of the global atmosphere model GFS NCEP in ecological research. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 161-169. DOI: 10.46698/VNC.2021.16.85.013.

Введение

Решению экологических проблем, в последнее время уделяется большое внимание как в мировом, так и на уровне государств, регионов, городов, вплоть до отдельных предприятий.

Специалисты по прогнозированию качества воздуха, аварийно-спасательные службы, представители авиации, государственные учреждения и сообщество исследователей атмосферы относятся к числу тех, кому требуется доступ к инстру-

ментам для анализа и прогнозирования переноса и рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере.

Типичные пользовательские приложения включают моделирование выбросов опасных загрязняющих веществ и вулканического пепла, прогнозирование перемещения дыма от лесных пожаров, от сжигания мусора, аварий на предприятиях с опасным производством.

Получить быстрый доступ пользователю к прогностическим метеорологическим данным, в частности, к данным о стратификации атмосферы, независимо от местоположения позволяет глобальная модель атмосферы GFS NCEP Национального центра экологических прогнозов. Стратификация атмосферы предоставляет информацию об общей стабильности атмосферы, направлению и скорости ветра по высоте, определяющие перемещение загрязненного воздуха, а также о расположении температурных инверсий по высоте, которые препятствуют вертикальному перемешиванию загрязняющих веществ. Инверсии увеличивают концентрацию вредных загрязняющих веществ в воздухе, опасных для здоровья человека.

Целью данного исследования является оценка возможности использования данных о прогностических полях стратификации атмосферы по выходной продукции глобальной модели GFS с заблаговременностью до 24 часов взамен данных фактического аэрологического зондирования. Для достижения поставленной цели оценивается степень совпадения фактической и прогностической информации за одни и те же даты и по одним и тем же географическим координатам методом корреляционного анализа.

Материалы и методы исследований

Материалами данного исследования являются следующие поля метеорологических элементов: изобарические уровни (мб), высоты атмосферы (м), температура воздуха (°C), температуры точки росы (°C), скорости ветра (м/с) и направления скорости ветра (град).

Данные фактического зондирования атмосферы снимаются по метеостанции «Минеральные воды», расположенной в Центральной части Северного Кавказа. Зондирование атмосферы проводится два раза в сутки: в 9 и 12 часов (<https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-balloon/integrated-global-radiosonde-archive>).

Для сопоставления используется выходная продукция глобальной системы прогнозирования GFS, разработанной национальным центром экологического прогнозирования NCEP [Kalnay et al., 1990; Kanamitsu, 1989; Kanamitsu et al., 1991]. Отличительной особенностью GFS является то, что она состоит из модели атмосферы, океана, суши и морского льда. Кроме того, она постоянно развивается и улучшается с целью повышения эффективности и точности прогнозов. В июне 2019 года глобальная система прогнозирования NOAA (GFS) была значительно обновлена. Был осуществлен переход на новый, неспектральный блок решения уравнений динамики (FV3), а также введен ряд усовершенствований в описании физических процессов подсеточного масштаба. Модели, использующие FV3, имеют возможность телескопировать масштаб расчетной сетки для обчета мезомасштабных штормовых систем для улучшения их прогноза. В настоящее время (по состоянию на 2021 год) горизонтальное разрешение составляет около 13 км для прогнозов с заблаговременностью до 10 дней и 34 км с заблаговременностью от 10 до 16 дней (<http://www.emc.ncep.noaa.gov>). Эти поля рассчитываются для изобарических поверхностей от уровня Земли до высоты 100 мб (рис. 1).

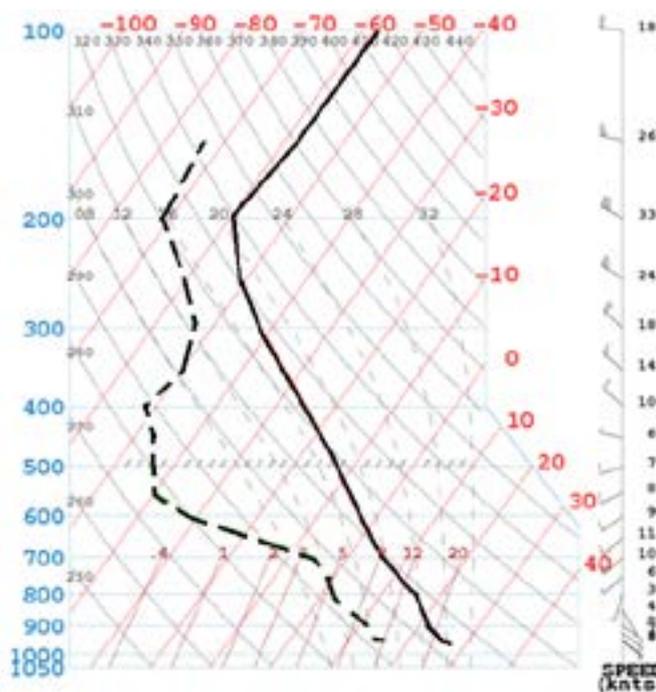


Рис. 1. Графическое представление выходных данных о стратификации атмосферы по глобальной модели атмосферы GFS: сплошная кривая – температура воздуха, пунктирная кривая – температура точки росы /

Fig. 1. Graphical representation of the output data on the atmosphere stratification according to the global atmosphere model GFS: solid curve – air temperature, dotted curve – dew point temperature

Информация выдается в оперативном режиме по исходным срокам 0, 6, 12, 18 часов ВСВ (Всемирное скоординированное время) и обновляется через каждые 6 часов. Дискретность по времени составляет 3 часа для заблаговременности прогноза за 0–180 часов и 12 часов для заблаговременности 180–384 часа.

Для проведения данного исследования были созданы два набора данных по температуре воздуха, температуре точки росы, скорости и направлению ветра на различных изобарических уровнях. Первый набор состоял из прогностических значений параметров атмосферы по выходной продукции глобальной модели атмосферы для срока 24 часа, второй набор – соответствующие фактические значения параметров атмосферы по результатам аэрологического зондирования.

На втором этапе оценивается близость значений данных полей метеорологических параметров для двух наборов данных по коэффициенту корреляции. Инструментом исследования служит статистический программный продукт «SPSS».

Результаты исследований и их обсуждение

В исследования были включены даты за период с мая по август 2020 года. В этот период наблюдались опасные метеорологические явления, связанные с конвекцией.

По двум, выше отмеченным, наборам данных метеорологические параметры выбирались на стандартных изобарических уровнях, равных 1000, 900, 850, 800, 700, 600, 500, 400 и 300 мб. Изобарический уровень зем соответствует уровню у земли, примерно 1000 мб. Заблаговременность составляла 24 часа.

Для визуализации были построены графики фактических и прогностических значений данных полей метеоэлементов на уровнях 700 и 400 мб, на которых наглядно просматривается хорошее совпадение. Кривые для температуры воздуха, в качестве примера, приведены на рисунке 2.

Далее рассчитывались коэффициенты корреляции между фактическими и прогнозными значениями данных полей метеорологических параметров на выделенных изобарических уровнях (табл. 1).

Из таблицы 1 видно, что по шкале Чеддока температура воздуха имеет наиболее высокие коэффициенты корреляции (степень связи между фактическими и прогнозными значениям очень высокая). Даже такой изменчивый и трудно прогнозируемый, но вместе с тем важный параметр, как температура точки росы (влажность) имеет коэффициент корреляции между прогностическими и фактическими данными более 0,7, что соответствует высокой корреляционной связи. У поверхности земли этот параметр имеет коэффициент корреляции (0,87).

Для температуры и скорости ветра степень совпадения прогностических и фактических данных высокая по коэффициенту корреляции.

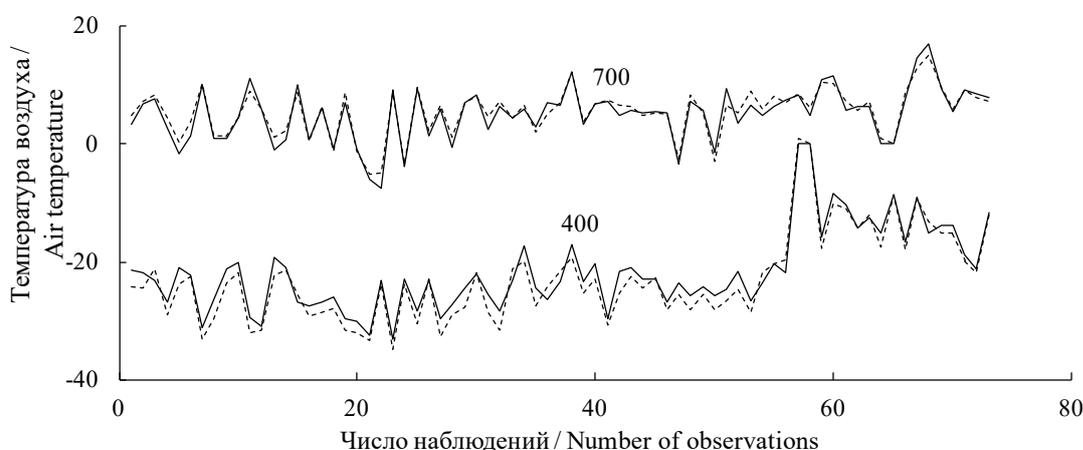


Рис. 2. Значения температуры воздуха на изобарических уровнях 700 мб и 400 мб: сплошные линии – фактические данные, пунктирные линии – прогностические данные /

Fig. 2. Air temperature values at isobaric levels 700 mb and 400 mb: solid lines – actual data, dotted lines – predictive data

Таблица 1 / Table 1

Коэффициенты корреляции между фактическими и прогностическими значениями метеорологических параметров атмосферы /

Correlation coefficients between actual and predictive values of meteorological parameters of the atmosphere

Изобарические уровни, мб / Isobaric levels, mb	Коэффициенты корреляции / Indices of correlation			
	Температура воздуха / Atmospheric temperature	Температура точки росы / Dewpoint temperature	Направление ветра / Wind direction	Скорость ветра / Wind speed
1000 (zem)	0,93	0,87	0,90	0,82
850	0,96	0,90	0,88	0,90
800	0,95	0,83	0,94	0,89
700	0,97	0,88	0,91	0,90
600	0,94	0,87	0,92	0,90
500	0,93	0,87	0,96	0,95
400	0,93	0,83	0,97	0,97
300	0,93	0,71	0,97	0,98
1000 (zem)	0,93	0,87	0,90	0,82

Таким образом, коэффициенты корреляции показывают, что исследуемая глобальная модель атмосферы прогнозирует значения полей метеопараметров с высокой точностью, что позволяет их использовать при математическом моделировании распространения примесей в атмосфере [Svalova et al., 2019; Sharovalov, 2018; Алборов, Заалишвили, 2021; Алоян и др., 2005; Керимов и др., 2007; Рязанов и др., 2016; Рязанов, 2017, Марчук, 1982; Геккиева, 2020], при прогнозировании таких опасных явлений как град [Кагермазов и др., 2021; Dzombak, 2021; Raupach et al., 2021], паводки [Kagermazov et al., 2017], сели [Сейнова и др., 2018; Докукин и др., 2020; Сейнова и др., 2010; Мальнева и др., 2019; Leinss et al., 2021], а также разработке экологической и инженерно-изыскательской документации [Временные рекомендации..., 2019].

Выводы

Полученные результаты свидетельствуют о высоком качестве выходной продукции современных глобальных моделей атмосферы и возможности использования прогностической информации этих моделей вместо фактической информации о состоянии атмосферы, где прямые измерения не проводятся.

Показано, что использование выходных данных таких моделей для решения разного круга прогностических задач метеорологии и экологии вполне оправдано и имеет хорошие перспективы.

Литература

1. Алборов И.Д., Заалишвили В.Б. Влияние ветрового режима и давления атмосферного воздуха на надежность вентиляции рудников и организм человека. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №3. – С. 148–159. DOI: 10.46698/VNC.2021.17.27.012.
2. Алоян А.Е., Пененко В.В., Козодеров В.В. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. // В кн.: Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования. – М.: Наука, 2005. – Т. 2.- С. 279-351.
3. Временные рекомендации. Фоновые концентрации вредных (загрязняющих) веществ для городских и сельских поселений, где отсутствуют регулярные наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха на период 2019-2023 гг. – СПб. – 2019. – 7 с.
4. Геккиева С.О. Влияние метеорологических условий на загрязнение атмосферы г. Нальчика. // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: международная научно-практическая конференция (Уфа, 27 декабря 2020 г.). – Уфа: ООО «Омега Сайнс», 2020. – С. 86-94.
5. Докукин М.Д., Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Савернюк Е.А., Черноморец С.С. Каменные глетчеры – очаги формирования катастрофических селей. // ГеоРиск. – 2020. – Т. 14, № 2. – С. 52-65.
6. Кагермазов А.Х., Федченко А.Х., Созаева Л.Т., Жабоева М.М. Среднесрочный прогноз града по выходным данным глобальной модели атмосферы. // Наука. Инновации. Технологии. – 2021. – №2. – С. 91–106.
7. Керимов А.М., Шаповалов В.А., Корчагина Е.А. Исследование распространения атмосферных примесей для климатических условий и рельефа Кабардино-Балкарии. // Моделирование устойчивого регионального развития: материалы второй международной конференции (Нальчик, 14-18 мая 2007 г.). – Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2007. – С. 47-51.
8. Мальнева И.В., Докукин М.Д., Анаев М.А., Хаджиев М.М. Особенности погоды летом 2019 г. на Северном Кавказе и проявление опасных геологических процессов. // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: материалы Пятнадцатой Общероссийской научно-практической конференции изыскатель-

- ских организаций. (Москва, 26–29 ноября 2019 г.). – М.: Геомаркетинг, 2019. – С. 189-197.
9. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 319 с.
10. Рязанов В.И., Шаповалов А.В., Шаповалов В.А. Трехмерная численная модель распространения примесей в атмосфере с детальным учетом локальных метеорологических параметров. // *Естественные и технические науки*. – 2016. – №10 (100). – С. 27 – 34.
11. Рязанов, В.И. Математическое моделирование распространения примесей в атмосфере от выбросов ракетных жидкостных двигателей на основе трехмерной модели и некоторые результаты расчетов. // *Современный научный вестник*. – 2017. – Т. 9, № 2. – С. 25 – 33
12. Сейнова И.Б., Андреев Ю.Б., Крыленко И.Н., Богаченко Е.М., Феоктистова Е.Г. Опыт прогнозирования селей в условиях деградации оледенения на Центральном Кавказе. // *Геориск*. – 2018. – Т. 12. №4. – С. 26–37.
13. Сейнова И.Б., Черноморец С.С., Тутубалина О.В., Баринов А.Ю., Соколов И.А. Условия формирования селевых потоков в районах активного вулканизма (на примере вулканов Ключевской и Шивелуч, Камчатка). Часть 1. // *Криосфера Земли*. – 2010. – Т. 14, №2. – С. 29-45.
14. Dzombak B. Severe hailstorms are costly and hard to predict. // *Eos*. – 2021. – No.102. <https://doi.org/10.1029/2021EO158268>
15. Kagermazov A.Kh., Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Shapovalov A.V., Sozayeva L.T. Forecasting the floods caused by strong atmospheric convection using output data of global atmospheric model (GFS) for ER South. // *International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR)*. – 2017. – Vol. 8. Issue 4. – pp. 1542-1549.
16. Kalnay E., Kanamitsu M., and Baker W.E. Global numerical weather prediction at the National Meteorological. // *Center. Bull. Amer. Meteor. Soc.* – 1990. – No.71. – pp.1410-1428.
17. Kanamitsu M. Description of the NMC global data assimilation and forecast system. // *Wea. and Forecasting*. – 1989. – No.4. – pp. 335-342.
18. Kanamitsu M., Alpert J.C., Campana K.A. et al. Recent changes implemented into the global forecast system at NMC. // *Weather and Forecasting*. – 1991. – Vol. 6. – pp. 425–435.
19. Leinss S., Bernardini E., Jacquemart M., Dokukin M. Glacier detachments and rock-ice avalanches in the petra pervogo range, Tajikistan (1973-2019), // *Natural Hazards and Earth System Science*. – 2021. – Vol. 21. No.5.- pp. 1409-1429.
20. Raupach, T.H., Martius, O., Allen, J.T. et al. The effects of climate change on hailstorms. // *Nat Rev Earth Environ*. – 2021. – No.2. – pp. 213–226. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00133-9>
21. Shapovalov V.A. Propagation of multicomponent admixture in the atmosphere in the mountain-steppe zone. // *Materials Science Forum*. – 2018. – Vol. 931. – pp. 1013–1018. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.1013
22. Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V., Ginzburg A.A. Complex Environmental Monitoring in Russia and India. // *Geology and Geophysics of Russian South*. – 2019. – Vol. 9. No.4. – pp. 87-101. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44491.

References

1. Alborov I.D., Zaalishvili V.B. Influence of wind conditions and pressure the influence of atmospheric air on the reliability of mine ventilation and the human body. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No.3. pp. 148–159. DOI: 10.46698/VNC.2021.17.27.012 (in Russ.).
2. Aloyan A.E., Penenko V.V., Kozoderov V.V. Mathematical modeling in the problem of the environment. In the book. *Modern problems of computational mathematics and mathematical modeling*. Moscow. Nauka, 2005. Vol. 2. pp. 279-351. (In Russ.)
3. Temporary recommendations. Background concentrations of harmful (polluting)

substances for urban and rural settlements, where there are no regular observations of air pollution for the period 2019-2023. SPb. 2019. 7 p. (In Russ.)

4. Gekkieva S.O. Influence of meteorological conditions on air pollution in Nalchik. Fundamental and applied scientific research: topical issues, achievements and innovations: an international scientific and practical conference (Ufa, December 27, 2020). Ufa: ООО «Omega Sains», 2020. pp. 86-94. (In Russ.)

5. Dokukin M.D., Bekkiev M.YU., Kalov R.KH., Savernyuk E.A., Chernomorets S.S. Rock glaciers as origination sites of the catastrophic debris flows. *Georisk*. 2020. Vol. 14. No.2. pp. 52-65. (In Russ.)

6. Kagermazov A.Kh., Fedchenko L.M., Sozaeva L.T., Zhaboeva M.M. Medium-range hail forecast on global atmospheric model output data. *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*. 2021. No.2. pp. 91-106. (In Russ.)

7. Kerimov A.M., Shapovalov V.A., Korchagina E.A. Study of the distribution of atmospheric impurities for climatic conditions and relief of Kabardino-Balkaria. Modeling of sustainable regional development: materials of the second international conference (Nalchik, May 14-18, 2007). Nalchik. KBNTS RAN, 2007. pp. 47-51. (In Russ.)

8. Malneva I.V., Dokukin M.D., Anaev M.A., Khadzhiev M.M. Features of the weather in the summer of 2019 in the North Caucasus and the manifestation of dangerous geological processes. Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation: materials of the Fifteenth All-Russian Scientific and Practical Conference of Survey Organizations. (Moscow, November 26-29, 2019). – Moscow. Geomarketing, 2019. pp. 189-197. (In Russ.)

9. Marchuk G.I. Mathematical modeling in the problem of the environment. Moscow. Nauka, 1982. 319 p. (In Russ.)

10. Ryazanov V.I., Shapovalov A.V., Shapovalov V.A. Three-dimensional numerical model of impurity distribution in the atmosphere with detailed consideration of local meteorological parameters. *Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki*. 2016. No.10 (100). pp. 27-34. (In Russ.)

11. Ryazanov V.I. Mathematical modeling of the propagation of impurities in the atmosphere from the emissions of liquid rocket engines based on a three-dimensional model and some calculation results. *Sovremennyy nauchnyy vestnik*. 2017. Vol. 9. No.2. pp. 25-33. (In Russ.)

12. Seynova I.B., Andreev Yu.B., Krylenko I.N., Bogachenko E.M., Feoktistova E.G. Experience in forecasting mudflows under conditions of degradation of glaciation in the Central Caucasus. *Georisk*. 2018. Vol. 12. No.4. pp. 26-37. (In Russ.)

13. Seynova I.B., Chernomorets S.S., Tutubalina O.V., Barinov A.Yu., Sokolov I.A. Conditions for the formation of mudflows in areas of active volcanism (on the example of the volcanoes Klyuchevskoy and Shiveluch, Kamchatka). Part 1. *Kriosfera Zemli*. 2010. Vol. 14. No.2. pp. 29-45. (In Russ.)

14. Dzombak B. Severe hailstorms are costly and hard to predict. *Eos*. 2021. No.102. <https://doi.org/10.1029/2021EO158268>

15. Kagermazov A.Kh., Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Shapovalov A.V., Sozayeva L.T. Forecasting the floods caused by strong atmospheric convection using output data of global atmospheric model (GFS) for ER South. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR)*. 2017. Vol. 8. Issue 4. pp. 1542-1549.

16. Kalnay E., Kanamitsu M., and Baker W.E. Global numerical weather prediction at the National Meteorological Center. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1990. No.71. pp.1410-1428.

17. Kanamitsu M. Description of the NMC global data assimilation and forecast system. *Wea. and Forecasting*. 1989. No.4. – pp. 335-342.

18. Kanamitsu M., Alpert J.C., Campana K.A. et al. Recent changes implemented into the global forecast system at NMC. *Weather and Forecasting*. 1991. Vol. 6. pp. 425-435 p.

19. Leinss S., Bernardini E., Jacquemart M., Dokukin M. Glacier detachments and rock-ice avalanches in the Petra pervogo range, Tajikistan (1973-2019). *Natural Hazards and Earth System Science*. 2021. Vol. 21. No.5. pp. 140901429.

20. Raupach, T.H., Martius, O., Allen, J.T. et al. The effects of climate change on hailstorms. *Nat Rev Earth Environ.* 2021. No.2. pp. 213-226. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00133-9>

21. Shapovalov V.A. Propagation of multicomponent admixture in the atmosphere in the mountain-steppe zone. *Materials Science Forum.* 2018. Vol. 931. pp. 1013-1018. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.1013

22. Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V., Ginzburg A.A. Complex Environmental Monitoring in Russia and India. *Geology and Geophysics of Russian South.* 2019. Vol. 9. No.4. pp. 87-101. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44491.