

РАСЧЕТ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗА РАДИОНУКЛИДОВ В АРКТИЧЕСКОЙ АТМОСФЕРЕ

Д. А. Припачкин, К. Г. Рубинштейн, Р. Ю. Игнатов, И. М. Губенко, Н. Ю. Бутаков
Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (Москва, Российская Федерация)

Для цитирования

Припачкин Д. А., Рубинштейн К. Г., Игнатов Р. Ю., Губенко И. М., Бутаков Н. Ю. Расчет метеорологических полей, предназначенных для прогноза радионуклидов в арктической атмосфере // Арктика: экология и экономика. — 2025. — Т. 15, № 1. — С. 17—26. — DOI: 10.25283/2223-4594-2025-1-17-26.

Статья поступила в редакцию 24 ноября 2024 г.

Цель работы — создание системы обеспечения оптимальными прогностическими метеорологическими полями модели переноса радионуклидов в полярной области. Анализируются результаты расчетов приземных метеорологических полей в арктическом регионе России в районе, включающем бухту Сабетта, с помощью стандартной и полярной версий модели WRF-ARW [17]. Показано улучшение качества метеорологических приземных полей, прежде всего скорости и направления ветра, благодаря использованию полярной версии и усвоению более реалистичского ледового покрова и температуры поверхности океана. Полученные в работе методики будут использованы в обеспечении работ по моделированию переносов радионуклидов в Арктике.

Ключевые слова: Арктика, WRF-ARW, прогноз метеорологических полей.

Введение

Актуальность работы связана с тем, что на севере России имеется целый ряд ядерных энергетических установок, использующихся в эксплуатации на Северном морском пути (СМП). Наибольшее их количество сосредоточено в приграничных регионах Мурманской области, Ямало-Ненецком и Чукотском автономных округах — в Мурманске, поселке Сабетта и городе Певек.

Распространение, осаждение и накопление в полярных регионах радионуклидов несет серьезную опасность населению и природе на больших площадях.

Наиболее быстрым каналом распространения радионуклидов является, как известно, атмосфера. В связи с этим необходимы постоянный мониторинг

распространения нуклидов и тщательный анализ их накопления.

Современные модели переноса радионуклидов состоят, как правило, из специфической транспортной модели, входными данными для которой являются прогностические метеорологические поля, поступающие через определенные интервалы (например, 1, 3, 6 ч), при этом никакого обратного воздействия газов и аэрозолей на метеорологию, как правило, не предусмотрено. Наиболее важной метеорологической характеристикой для транспортной модели является ветер. Не только приземный ветер, но и ветер в пограничном слое, проверить который по данным измерений в этих регионах невозможно. Важным элементом являются также вертикальные градиенты температуры, так как они в большой мере определяют устойчивость атмосферы, вертикальные движения и турбулентность, но температуры на высотах в этих широтах также

Таблица 1. Список основных используемых параметризаций в расчетах
Table 1. List of main parameterizations used in calculations

Процесс	Индекс	Название схемы	Ссылка
Микрофизика	7	Goddard 4-ice	[18]
Длинноволновая радиация	4	RRTMG	[14]
Коротковолновая радиация			
Приземный слой	4	Quasi-Normal Scale Elimination PBL	[20]
Пограничный слой	5	MYNN 2.5 level	[16]
Конвекция	1	Kain-Fritsch scheme	[10]

не измеряются, и приходится ограничиться оценками приземной температуры. Анализ осадков важен для воспроизведения вымывания нуклидов из атмосферы.

Известно, что в полярных регионах в зимний период погода характеризуется сложной метеорологической и ледовой обстановкой. Ситуация осложняется совершенно недостаточной измерительной сетью. Угрозы возникновения гипотетических ядерных аварий вполне реальны. От радиоактивного загрязнения могут пострадать прилегающие территории, морские акватории, природные и экономические ресурсы России и расположенных вблизи государств (Швеции, Финляндии, Норвегии, США).

Целью данной работы является получение наиболее реалистичных прогностических метеорологических полей для расчетов транспорта нуклидов. В ней приведен анализ методов подготовки метеорологических прогностических полей для расчета распространения радионуклидов в полярной области России.

Методы исследования

Для подготовки прогностических метеорологических полей предлагается использовать региональную негидростатическую модель Weather Research and Forecast (WRF-ARW) v. 4.5 [17], которая хорошо себя зарекомендовала в анализе радиационной обстановки и оценке последствий радиационных аварий в бухте Чажма (1985), Чернобыле (1986), Фукусиме (2011) и др. [1; 2; 4; 6; 17]. При анализе аварии на АЭС «Фукусима» использование этой системы позволило реалистично оценить дозы воздействия на население на территории Японии и восстановить источник выброса радиоактивных веществ в атмосферу.

В предлагаемой работе приводится сравнение результатов расчета приземных метеорологических полей с помощью двух разных версий модели WRF-ARW — стандартной и полярной. Оценки будут представлены для зимнего и летнего сезонов.

Модель WRF-ARW [17] разрабатывалась с участием Национального центра исследования атмосферы (NCAR, США) и Национального центра прогнозов со-

стояния окружающей среды (NCEP, США). В настоящее время модель WRF-ARW находится в свободном доступе и используется в России при решении широкого круга задач в области прогноза погоды.

Так как мы решаем задачу прогноза с помощью интегрирования уравнений Навье — Стокса на ограниченной территории, не на глобусе, она является задачей Коши, нам необходимы начальные и граничные условия. Для расчетов они брались из результатов глобальных прогнозов GFS (Глобальной системы прогнозов) [10]. При использовании модели в прогностических целях требуется информация о геопотенциале, температуре, влажности, горизонтальных компонентах скорости ветра, температуре подстилающей поверхности, приземном давлении, давлении на уровне моря, температуре и влажности почвы, водном эквиваленте снежного покрова, альбедо подстилающей поверхности, доле растительного покрова, рельефе, а также о распределении воды-суши-морского льда.

В экспериментах использовалась версия модели WRF-ARW 4.5, горизонтальный шаг сетки 18 км, выдача результатов каждые 60 мин. Модель стартовала с новыми начальными данными и краевыми условиями каждые 12 ч. Рассчитывались прогнозы на 12 ч, первые 6 ч исключались из анализа результатов, так как рассматривались как приспособление данных к уравнениям.

В прогностической модели имеется большой набор параметризации физических процессов подсеточного масштаба, не описываемых основными уравнениями.

Это процессы в почве, на подстилающей поверхности, в пограничном слое, в свободной атмосфере — облачность, осадки т. д. В табл. 1 представлен перечень используемого набора параметризаций физических процессов в данной работе. Их набор получен в результате серии предварительных экспериментов по подбору оптимальных параметризаций.

Предполагается использование для расчетов полярной версии модели [3; 11; 13]. Она представляет собой модификацию стандартной версии для более качественного описания атмосферных процессов на территории, большей частью покрытой льдом

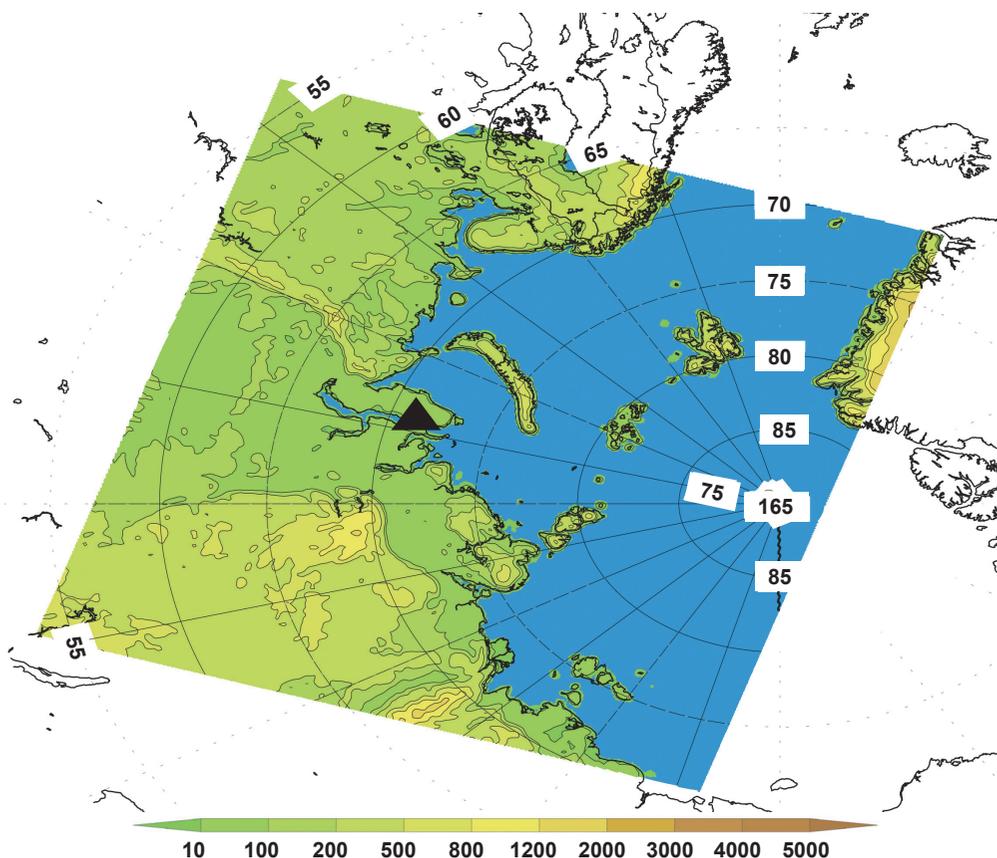


Рис. 1. Карта расчетной области. Шкала отражает высоту орографии, м
 Fig. 1. Map of the calculation area. The scale reflects the height of the orography, m

и снегом. Указанная версия использовалась при расчетах арктических реанализов [8; 19]. Полярная версия модели отличается от базовой в основном описанием энергообмена с использованием модели подстилающей поверхности NOAHLSM [9] над территориями, покрытыми морским льдом, с возможностью количественного описания ледяного покрова (сплоченность, толщина льда и снега на льду). Если поверхность в значительной степени заснежена (более 97%), то используется значение теплопроводности для снега, а не для почвы, как в стандартной версии. Для заснеженных регионов учитывается теплота сублимации, для бесснежных — теплота парообразования. Для описания тепловых процессов в ледяном покрове используется четырехслойная модель морского льда с описанием обмена теплом и влагой на границах «снег — атмосфера» и «снег — морской лед». Кроме того, в полярной версии изменен ряд теплофизических характеристик подстилающей поверхности: влажность поверхности в точках наземного и морского льда принята равной 1, доля снежного покрова не ограничена для всех поверхностей, альbedo морского льда принято равным 0,8, излучательная способность льда — 0,98, теплопроводность надо льдом (водным и наземным) устанавливается в соответствии с теплопроводностью над

снегом [3]. Помимо этого для улучшения адаптивности в полярных регионах температура замерзания морской воды установлена на уровне 271,36°K, шероховатость поверхности над морским льдом и постоянным материковым льдом — на уровне 0,001 м, излучательная способность снега — на уровне 0,98, плотность снега над морским льдом — на уровне 300 кг/м³, теплопроводность переходного слоя между атмосферой и снегом принимается за теплопроводность снега, и всякий раз, когда верхний слой снега превышает глубину 20 см, он рассматривается так, как если бы толщина снега была 20 см для расчета потока тепла. Для альтернативного расчета температуры поверхности над снежными поверхностями теплопроводность верхнего слоя тундровой почвы глубиной 0,1 м установлена на уровне 0,25 Вт·м⁻¹·K⁻¹ [7; 13].

Для расчетов была подготовлена область с шагом по горизонтали 18 км и по вертикали 39 сигма-поверхностей (от 2 до 20 000 м). На рис. 1 представлена карта расчетной области для стандартной и полярной версий прогностической модели.

Результаты работы

Были просчитаны две серии прогнозов на 48 ч для зимы (все дни февраля) и лета (все дни августа)

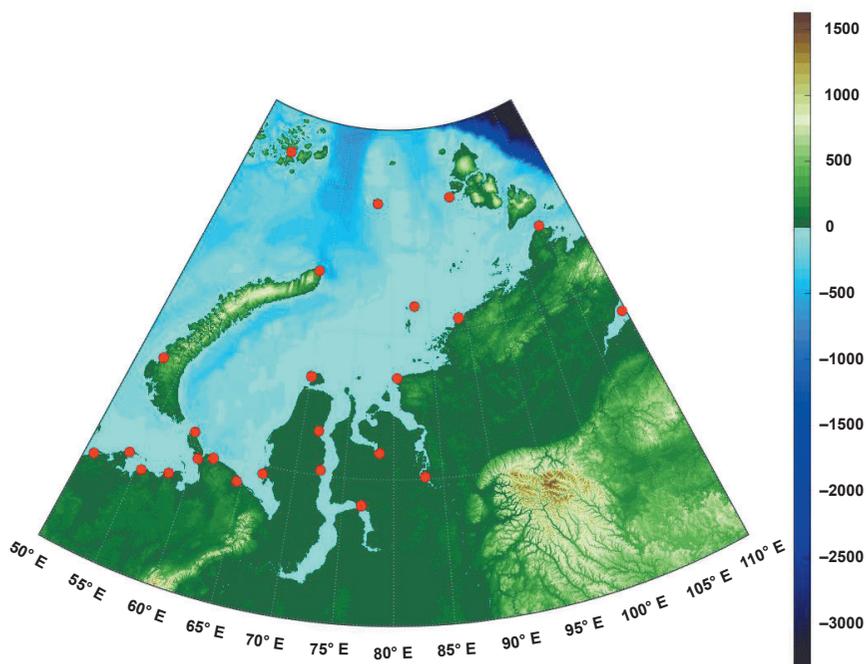


Рис. 2. Карта сети наземных метеорологических станций, по которым проводились оценки результатов моделирования. Шкала – орография
Fig. 2. Map of the network of ground meteorological stations used to evaluate the modeling results. The scale is orography

2023 г. со стандартной и полярной версиями прогностической модели WRF-ARW.

Для оценки результатов прогнозов использовалась сеть метеорологических станций Росгидромета, расположенных на побережье и островах. Карта метеорологических и аэрологических станций приведена на рис. 2. Станции обозначены красными точками.

Перейдем к сравнению результатов прогнозов по двум версиям моделей. При этом надо упомянуть, что основной перенос радионуклидов происходит в пограничном слое атмосферы при наземном выбросе, но оценить качество полей есть возможность только по приземным измерениям. Качество воспроизведения приземной температуры определяет в какой-то мере вертикальную структуру температуры или степень устойчивости в пограничном слое, поэтому мы его тоже проводим, но основными и наиболее трудными для анализа являются модуль и направление ветра.

На рис. 3 приведены средние за месяц разности между температурой воздуха на 2 м для полярной и стандартной версий прогностической модели.

Можно видеть, что в приземной температуре заметна разница и зимой (от $-1,5^{\circ}$ до 4°), и летом (от -9° до 0°), т. е. летом средняя температура изменилась значительно.

Средняя за месяц скорость ветра также изменилась зимой от уменьшения до роста на 1 м/с, примерно на столько же и летом.

В табл. 2—5 приведены средние для зимы и лета оценки прогнозов стандартной модели и ее полярной версии. Оценки проведены по данным о приземном ветре, температуре и осадкам с метеорологических станций (см. рис. 2).

Из табл. 4 видно, что в южной части области заметных различий не наблюдалось.

В таблицах приведены систематические ошибки (BIAS), абсолютные ошибки (ABS), среднеквадратические ошибки (RMSE), и векторные ошибки для ветра (VEK) для приземной температуры, ветра и осадков, а также коэффициенты корреляции (COR) прогностических данных с данными наблюдений. Эти показатели являются стандартными для оценок качества прогноза метеорологических величин, их формулы представлены в [5]. В соответствии с [5] прогнозы можно считать вполне удовлетворительными.

Можно видеть, что на оценках осадков смена версий практически не отразилась.

В табл. 3 выделены заметные улучшения полей температуры на 2 м летом, рассчитанные полярной версией с новыми свойствами ледяного и снежного покрова, и температурой поверхности океана, которые способствуют более реалистичному описанию пограничного слоя атмосферы в модели, процессы в котором значительно влияют на распространение радионуклидов.

Из анализа табл. 5 можно сделать вывод, что направление ветра (а это весьма важный показатель

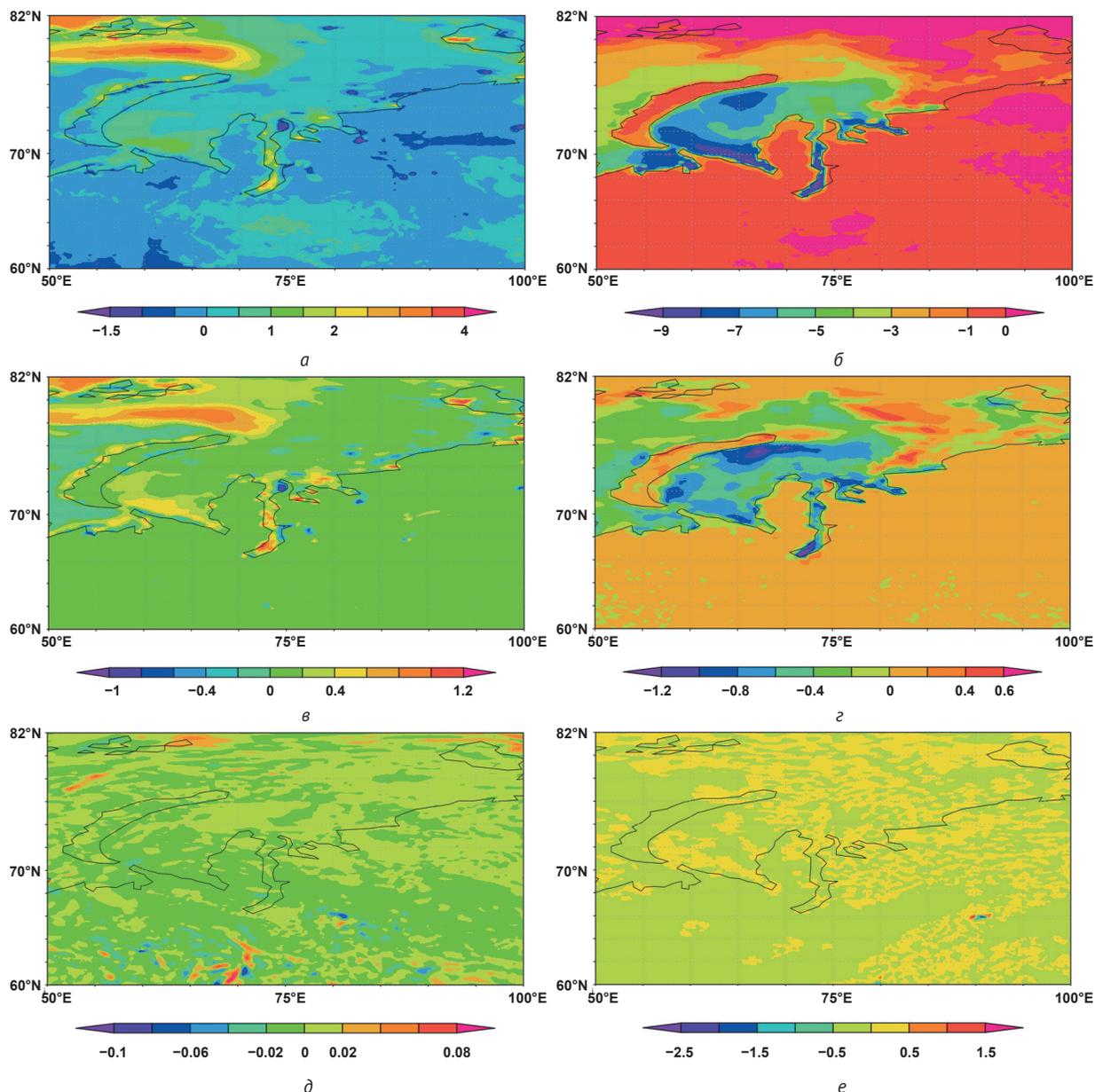


Рис. 3. Средние за месяц разности между результатами полярной и стандартной версий прогностической модели температуры воздуха на 2 м (а, б), модуля скорости ветра (в, г) и суммы осадков (д, е) для зимы и лета 2023 г.
 Fig. 3. Average monthly differences between the results of the polar and standard versions of the forecast model for air temperature at 2 m (a, б), wind speed (в, г) and precipitation amount (д, е) for winter and summer 2023

Таблица 2. Средние оценки прогноза 12-часовых сумм осадков для стандартной и полярной версий модели

Table 2. Average 12-hour precipitation totals forecast estimates for the model standard and polar versions

Версия модели	BIAS		ABS		RMSE		COR	
	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето
Стандартная	0,31	0,13	0,57	0,58	1,30	2,21	0,48	0,43
Полярная	0,31	0,14	0,57	0,59	1,29	2,20	0,48	0,43

Таблица 3. Средние оценки прогноза температуры воздуха на 2 м стандартной и полярной версий модели

Table 3. Average estimates of the air temperature forecast at 2 m for the model standard and polar versions

Версия модели	BIAS		ABS		RMSE		COR	
	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето
Стандартная	-2,52	-2,33	3,29	2,78	4,28	3,54	0,95	0,91
Полярная	-2,56	-1,35	3,32	2,12	4,30	2,79	0,95	0,92

Примечание. Полу жирным выделены заметные улучшения полей температуры на 2 м летом, рассчитанные полярной версией с новыми свойствами ледяного и снежного покрова, а также температурой поверхности океана, способствующие более реалистичному описанию в модели пограничного слоя атмосферы, процессы в котором значительно влияют на распространение радионуклидов.

Note. Noticeable improvements in temperature fields by 2 m in summer are highlighted in bold, calculated by the polar version with new properties of ice and snow cover, as well as ocean surface temperature, contributing to a more realistic description of the atmospheric boundary layer in the model, the processes in which significantly affect the spread of radionuclides.

Таблица 4. Средние оценки прогноза скорости ветра на 10 м для стандартной и полярной версий модели

Table 4. Average 10 m wind speed forecast estimates for the model standard and polar versions

Версия модели	BIAS		ABS		RMSE		VEK		COR	
	Зима	Лето								
Стандартная	0,53	0,43	2,61	1,93	3,38	2,45	3,96	3,02	0,68	0,54
Полярная	0,47	0,47	2,59	1,94	3,35	2,46	3,95	3,01	0,69	0,53

Таблица 5. Средние оценки прогноза направления ветра на 10 м стандартной и полярной версий модели

Table 5. Average estimates of the 10 m wind direction forecast for the model standard and polar versions

Версия модели	BIAS		ABS		RMSE		COR	
	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето
Стандартная	19,91	9,72	37,14	43,42	48,57	57,35	0,41	0,40
Полярная	20,12	10,91	37,19	42,20	48,72	55,74	0,41	0,42

для модели переноса примеси) полярной версией в географической области интереса воспроизводит-ся заметно реалистичнее.

Наиболее ярко можно видеть улучшение температуры воздуха в прогнозах полярной версии модели (BIAS, ABS), приведенных на рис. 4. Синяя кривая — стандартная версия, красная кривая — полярная. Практически в каждом прогнозе приземная температура была в полярной версии заметно ближе к наблюдениям.

В заключении анализа результатов расчетов приведем очень показательную, на наш взгляд, карту векторов летнего ветра на метеорологических станциях вблизи порта Сабетта и интерполи-

рованных в эти точки из расчетов по стандартной и полярной версиям модели (рис. 5). Из рисунка видно, что во всех станциях ветер, рассчитанный полярной версией, заметно ближе по направлению к наблюдениям.

Основной причиной изменений летней температуры являлось изменение ледяного покрытия в области прогноза. Это изменение иллюстрирует рис. 6, демонстрирующий разницу сплоченности льда между двумя версиями модели.

Заключение

В работе приведен анализ приземных метеорологических полей, предназначенных для расчетов

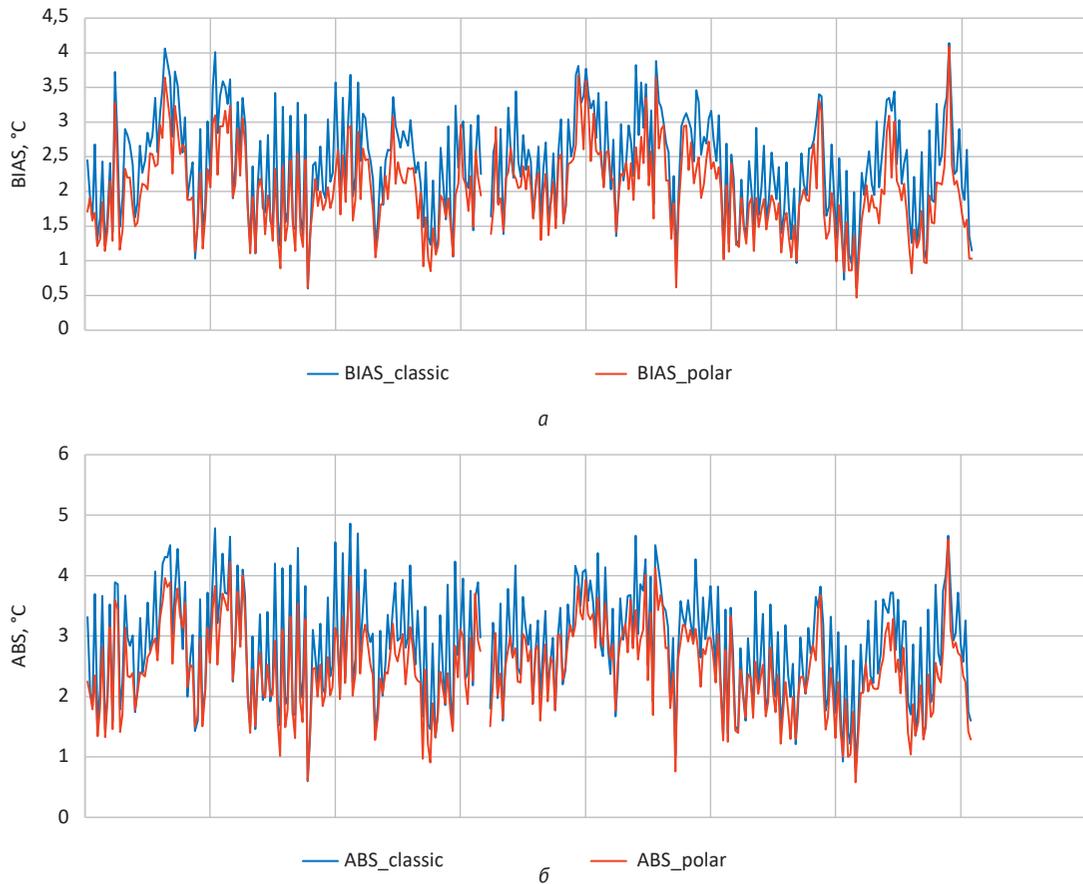


Рис. 4. Временной ход систематической (а) и абсолютной (б) ошибок приземной температуры для лета, рассчитанных с помощью стандартной и полярной версий модели в точках наблюдений сети Росгидромета, расположенных на побережье и островах
 Fig. 4. Time course of systematic (a) and absolute (b) errors of surface temperature for summer, calculated using the model standard and polar versions at observation points of the Roshydromet network located on the coast and islands

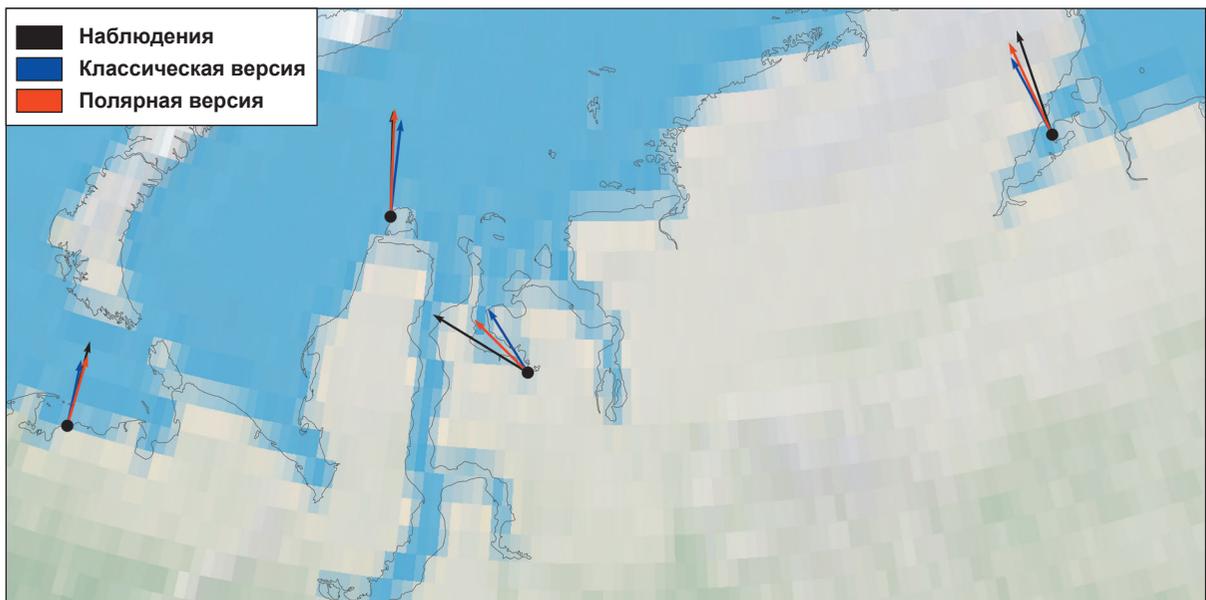


Рис. 5. Карта векторов среднего ветра, наблюдавшегося летом на ближайших станциях и полученных из расчетов (черный вектор) по классической версии (синий вектор) и полярной версии (красный вектор)
 Fig. 5. Map of average wind vectors observed in summer at nearby stations and their obtained calculations (black vector) according to the classical version (blue vector) and the polar version (red vector)

модели переноса радионуклидов в Карском море.

Несмотря на очень ограниченное количество наблюдательных станций в этом регионе и расположение их только в южной части области, показано, что использование полярной версии гидродинамической модели атмосферы с реалистичным ледовым покрытием заметно улучшает прогноз приземной температуры воздуха и приземного ветра.

Систематическая ошибка прогноза приземной температуры снизилась на 42%, абсолютная — на 24%, среднеквадратическая — на 21%. Таким образом, можно считать, что расчеты именно полярной версией наиболее подходят для генерации прогностических полей при прогнозе в модели переноса радионуклидов.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-19-00615П).

Литература/References

1. Арутюнян Р. В., Большов Л. А., Припачкин Д. А. и др. Оценка выброса радионуклидов при аварии на АЭС «Фукусима-1» (Япония) 15 марта 2011 года // Атом. энергия. — 2012. — Т. 112, № 3. — С. 159—163.
 Arutyunyan R. V., Bolshov L. A., Pripachkin D. A. et al. Assessment of the release of radionuclides during the accident at the Fukushima-1 nuclear power plant (Japan) 15 March 2011. Atomic Energy, 2012, vol. 112, no. 3, pp. 159—163. (In Russian).

2. Каневский М., Савельева Е., Демьянов В. и др. Физическое моделирование атмосферного переноса чернобыльских выпадений: Препринт № ИБРАЕ-2002-08. — М.: ИБРАЭ РАН, 2002. — 23 с. (На англ. яз.).
 Kanevsky M., Savelyeva E., Demianov V., Chernov S., Sorokovikova O., Belikov V. Physical modeling of atmospheric transport of Chernobyl fallout: Preprint no. IBRAE-2002-08, p. 23.

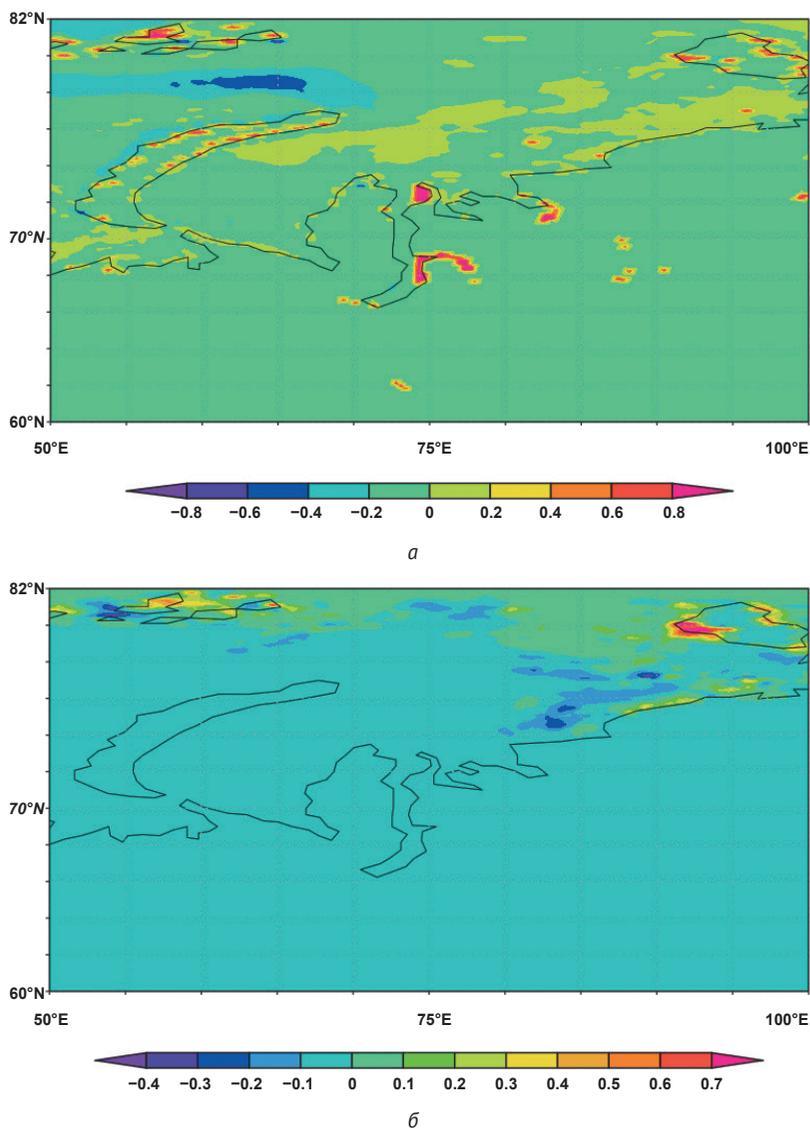


Рис. 6. Разности сплоченности льда, рассчитанные с помощью стандартной и полярной версий модели для зимы (а) и лета (б)
 Fig. 6. Differences in ice concentration calculated using the model standard and polar versions for winter (a) and summer (b)

3. Рубинштейн К. Г., Зароченцев Г. А., Игнатов Р. Ю. и др. Региональная модель динамики атмосферы для системы численного моделирования климата Арктики // Гидрометеор. исслед. и прогнозы. — 2019. — № 3 (373). — С. 60—72.
 Rubinstein K. G., Zarochentsev G. A., Ignatov R. Yu. et al. A regional model of atmospheric dynamics for the system of numerical modeling of the Arctic climate. Hydrometeorological research and forecasts, 2019, no. 3 (373), pp. 60—72. (In Russian).

4. Рубинштейн К. Г., Сафронов А. Н., Припачкин Д. А. и др. Сравнение результатов моделей переноса ⁸⁵Kr в атмосфере с данными натурального эксперимента ACURATE // Метеорология и гидрология. — 2017. — № 3. — С. 41—57.
 Rubinstein K. G., Safronov A. N., Pripachkin D. A. et al. Comparison of the results of ⁸⁵Kr atmospheric transport models with data from the ACURATE field experiment. Meteorology and hydrology, 2017, no. 3, pp. 41—57. (In Russian).

5. Руководящий документ РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов / Комитет гидрометеорологии при Кабинете министров СССР. Guidance document РД 52.27.284-91. Methodological guidelines. Conducting production (operational) tests of new and improved methods of hydrometeorological and heliophysical forecasts. The Committee of Hydrometeorology. (In Russian).
6. Саркисов А. А., Высоцкий В. Л., Припачкин Д. А. Восстановление радиоактивного загрязнения окружающей среды в Приморском крае вследствие ядерной аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма // Атом. энергия. — 2019. — Т. 127, вып. 3. — С. 144—150.
- Sarkisov A. A., Vysotsky V. L., Pripachkin D. A. Restoration of radioactive environmental pollution in Primorsky Krai due to a nuclear accident on a nuclear submarine in Chazhma Bay. Atomic Energy, 2019, vol. 127, iss. 3, pp. 144—150. (In Russian).
7. Bromwich D. H., Wilson A. B., Bai L., Moore G. W. K., Bauer P. A comparison of the regional Arctic System Reanalysis and the global ERA-Interim Reanalysis for the Arctic. Q. J. R. Meteorol. Soc., 2016, 142, pp. 644—658. DOI: 10.1002/qj.2527. Bromwich.
8. Bromwich D. H., Otieno F. O., Hines K. M., Manning K. W., Shilo E. Comprehensive evaluation of polar weather research and forecasting model performance in the Antarctic. J. Geophys. Res. D. Atmospheres, 2013, 118 (2), pp. 274—292.
9. Chen F., Dudhia J. Coupling an Advanced Land Surface-Hydrology Model with the Penn State-NCAR MM5 Modeling System. Part I: Model Implementation and Sensitivity. Mon. Wea. Rev., 2001, 129, pp. 569—585.
10. GFS: Model Analyses and Guidance. Available at: <https://mag.ncep.noaa.gov/model-guidance-model-parameter.php?group=Model%20Guidance&model=GFS&area=NAMER&ps=area>.
11. Hines K. M., Bromwich D. H., Bai L.-S., Barlage M., Slater A. G. Development and testing of Polar WRF: Part III. Arctic Land. J. Clim., 2011, 24, pp. 26—48.
12. Hines K. M., Bromwich D. H. Development and testing of Polar WRF. Part I: Greenland ice sheet meteorology. Mon. Weather Rev., 2008, 136, pp. 1971—1989.
13. Hines K. M., Bromwich D. H., Bai L., Bitz C. M., Powers J. G., Manning K. W. Sea ice enhancements to Polar WRF. Mon. Weather Rev., 2015, 143, pp. 2363—2385.
14. Iacono M. J., Delamere J. S., Mlawer E. J., Shephard M. W., Clough S. A., Collins W. D. Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models. J. Geophys. Res., 2008, vol. 113. DOI: 10.1029/2008JD009944.
15. Kain J. S. The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. J. Appl. Meteor., 2004, 43, pp. 170—181.
16. Nakanishi M., Niino H. An improved Mellor-Yamada level 3 model: its numerical stability and application to a regional prediction of advecting fog. Bound. Layer Meteor., 2006, 119, pp. 397—407.
17. Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Technical Note. NCAR. [S. l.], 2008, 520 p.
18. Tao W., Simpson J., McCumber M. An Ice-Water Saturation Adjustment. Mon. Wea. Rev., 1989, 117, pp. 231—235. Available at: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1989\)117<0231:AIWSA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1989)117<0231:AIWSA>2.0.CO;2).
19. Bai W. L. et al. The Arctic System Reanalysis Version 2. Bull. Amer. Meteor. Soc., 2018. DOI: 10.1175/BAMS-D-16-0215.1. In press.
20. WRF Users Guide documentation. Available at: https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/wrf_users_guide/build/html/physics.html#surface-physics.

Информация об авторах

Припачкин Дмитрий Александрович, доктор физико-математических наук, научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Россия, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: dmrwer@mail.ru.

Рубинштейн Константин Григорьевич, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Россия, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: k.g.rubin@gmail.com.

Игнатов Роман Юрьевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Россия, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: prognostist@gmail.com.

Губенко Инна Михайловна, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Россия, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: img0504@yandex.ru.

Бутаков Никита Юрьевич, инженер, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Россия, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: nikita.butakov.2019@mail.ru.

CALCULATION OF METEOROLOGICAL FIELDS INTENDED FOR FORECASTING RADIONUCLIDES IN THE ARCTIC ATMOSPHERE

Pripachkin, D. A., Rubinstein, K. G., Ignatov, R. Yu., Gubenko, I. M., Butakov, N. Yu.

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

The article was received on November 24, 2024

For citing

Pripachkin D. A., Rubinstein K. G., Ignatov R. Yu., Gubenko I. M., Butakov N. Yu. Calculation of meteorological fields intended for forecasting radionuclides in the Arctic atmosphere. *Arctic: Ecology and Economy*, 2025, vol. 15, no. 1, pp. 17—26. DOI: 10.25283/2223-4594-2025-1-17-26. (In Russian).

Abstract

The aim of the article is to create a system for providing the model of radionuclide transport in the polar region with optimal prognostic meteorological fields. The authors analyze the results of calculations of surface meteorological fields in the Arctic region of Russia, in the area including Sabetta Bay, using the standard and polar versions of the WRF-ARW model [17]. An improvement in the quality of meteorological surface fields, primarily wind speed and direction, is shown due to the use of the polar version and the assimilation of a more realistic ice cover and ocean surface temperature. The research methods will be used in simulating radionuclide transfer in the Arctic.

Keywords: *Arctic, WRF-ARW, forecast of meteorological fields.*

Funding

This work was supported by the Russian Science Foundation grant (project no. 20-19-00615P).

Information about the authors

Pripachkin, Dmitry Aleksandrovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya St., Moscow, Russia, 115191), e-mail: dmrwer@mail.ru.

Rubinstein, Kosntantin Grigorievich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of Laboratory, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya St., Moscow, Russia, 115191), e-mail: k.g.rubin@googlemail.com.

Ignatov, Roman Yurievich, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya St., Moscow, Russia, 115191), e-mail: prognozist@gmail.com.

Gubenko, Inna Mikhailovna, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya St., Moscow, Russia, 115191), e-mail: img0504@yandex.ru.

Butakov, Nikita Yurievich, Engineer, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulkaya St., Moscow, Russia, 115191), e-mail: nikita.butakov.2019@mail.ru.

© Pripachkin D. A., Rubinstein K. G., Ignatov R. Yu., Gubenko I. M., Butakov N. Yu., 2025