

# ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 551.509.313

ГРНТИ 37.21.77

**Zaiko P. O.**

Lead software engineer  
of Numerical Forecast Modeling Department,  
Belhydromet;  
PhD student of BSU physical faculty,  
Minsk, The Republic of Belarus

## METEOROLOGICAL DATA ASSIMILATION IN MESOSCALE NUMERICAL MODEL WRF-ARW IN THE REPUBLIC OF BELARUS

**Зайко Полина Олеговна**

ведущий инженер-программист  
отдела численного моделирования прогнозов  
ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии,  
контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды»;  
аспирант (соискатель) физического факультета БГУ  
г. Минск, Беларусь  
+375293592125

## АССИМИЛЯЦИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ В МЕЗОМАСШТАБНУЮ ЧИСЛЕННУЮ МОДЕЛЬ WRF-ARW В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

**Аннотация.** В данной статье приводятся результаты разработки системы контроля и подготовки данных белорусских доплеровских метеорологических локаторов для ассимиляции в численную мезомасштабную модель WRF-ARW (Weather Research and Forecasting) на основе метода трехмерного вариационного усвоения (3D-VAR). Подготовленные с помощью разработанной системы данные усваивались в адаптированную систему ассимиляции в Белгидромете. Для тестирования системы промоделированы случаи сильных осадков в 3 пространственных разрешениях (9, 3 и 1 км) на территории Республики Беларусь в летний и зимний период с усвоением радиолокационных данных и без усвоения. Результаты статистической и объект-ориентированной оценки промоделированных случаев позволяют говорить об уменьшении ошибки прогноза скорости ветра на 10 м, а также о более точном прогнозе местоположения центров выпадения осадков.

**Abstract.** This article presents the results of the development of control and preparation system for Belarusian Doppler meteorological radars data for assimilation into the numerical mesoscale model WRF-ARW (Weather Research and Forecasting) based on the method of three-dimensional variational assimilation (3D-VAR). The prepared data was assimilated into the adapted assimilation system in Belhydromet. There are 2 cases of heavy precipitation were simulated in 3 spatial resolutions (9, 3 and 1 km) on the territory of the Republic of Belarus in the summer and winter with the assimilation of radar data and without. The results of statistical and object-oriented verification suggest a decrease in the forecast error of wind speed by 10 m, as well as a more accurate prediction of the location of precipitation centers.

**Ключевые слова:** прогноз погоды; WRF-ARW; система ассимиляции (усвоения) данных; доплеровский метеорологический локатор; объективный анализ; оценка.

### Введение

Одной из основных задач численного прогноза погоды является прогноз опасных явлений погоды. Для прогноза опасных явлений, связанных с конвективной деятельностью, мезомасштабные численные модели требуют более точных начальных и граничных условий для моделирования. Основным способом уточнения начальных данных для модели является ассимиляция метеорологических данных [1].

Ассимиляция данных представляет собой процесс построения наиболее точного начального состояния атмосферной системы с помощью

привлечения дополнительных полей данных наблюдений, учета ошибок прогноза и наблюдений, и их последующего согласования. В процессе усвоения данных производится контроль качества поступающих наблюдений, корректировка полей начальных данных с помощью специализированных математических методов и последующее согласование полей, что представляет собой процесс слияния данных наблюдений с прогностическим решением гидродинамической модели.

В ведущих мировых метеорологических центрах, реализующих моделирование погодных

процессов, применяются современные системы ассимиляции, позволяющие усваивать данные наземных и аэрологических метеорологических станции, спутниковые, радиолокационные, самолетные наблюдения, и даже данные с мобильных и дорожных устройств. Особый интерес представляет ассимиляция данных доплеровского лоатора, предоставляющего информацию о влагозапасе, распределении поля ветра и микрофизической структуре облаков.

Усвоение радиолокационных данных с сети белорусских доплеровских лоаторов (Минск-2, Гомель, Витебск) является национальной задачей. Это связано с тем, что Беларусь не входит в состав крупных метеорологических Консорциумов (HIRLAM, COSMO, ALADIN и др.) [1], работающих в направлении ассимиляции метеорологических данных. Используемые в Белгидромете глобальные и региональные модели не включают в начальные данные радиолокационные наблюдения с территории страны в свои прогнозы.

В 2016 году в Белгидромете разработан программный комплекс, позволяющий производить усвоение данных наземных и аэрологических метеорологических станций, не поступающих в международный обмен [2].

В 2017 году в Белгидромете были начаты работы по созданию адаптированной системы ассимиляции радиолокационных данных для моделирования прогноза погоды для территории Республики Беларусь.

Основной целью исследования является представление разработанной системы контроля и подготовки данных белорусских доплеровских метеорологических лоаторов для ассимиляции в мезомасштабную модель WRF-ARW по территории Беларуси. Подготовленные радиолокационные данные ассимилировались в адаптированную мезомасштабную численную модель WRF-ARW с помощью метода трехмерного вариационного усвоения. Для оценки влияния ассимилированных радиолокационных данных на результаты прогноза проведено несколько численных экспериментов, включающих случаи выпадения ливневых осадков в летний и зимний период на территории Беларуси.

#### **Материалы и методы.**

В 2016 году в рамках научно-исследовательской работы в Белгидромете были разработаны первые адаптированные компоненты системы ассимиляции.

Разработанные компоненты включали автоматизированную систему усвоения наземных (50 станций Беларусь + 1700 станций Европа) и аэрологических данных метеорологических данных по методу Крессмана в систему мезомасштабного прогнозирования на базе модели WRF в Белгидромете. Разработанная технология

прогноза на основе модели WRF позволила уточнить прогнозы модели WRF, рассчитанного по исходным данным за срок 00 UTC, за счет усвоения данных синоптических и аэрологических наблюдений за срок 06 UTC. В систему усваивались следующие метеорологические данные:

– *приземные метеорологические данные:* давления на уровне моря и станции, температуры и точки росы на 2 м, скорости и направления ветра;

– *данные аэрологических наблюдений:* абсолютная высота изобарических поверхностей 1000, 850, 700, 500гПа и др., температура, дефицит точки росы, скорость и направление ветра на соответствующих изобарических поверхностях [2].

В 2017 году в Белгидромете началось создание второго компонента адаптированной системы ассимиляции, позволяющей производить усвоение доплеровских радиолокационных наблюдений по территории Республики Беларусь.

На первом этапе разработки технологии ассимиляции радиолокационных данных была создана система контроля и подготовки радиолокационных данных для последующей ассимиляции в модель WRF-ARW. В рамках этого этапа были разработаны система контроля и подготовки данных белорусских доплеровских метеорологических лоаторов и адаптированная система ассимиляции радиолокационных данных в мезомасштабную численную модель WRF-ARW на базе метода 3D-VAR.

На сегодняшний день (2020 г.) на территории Беларуси 3 доплеровских метеорологических лоатора (Минск-2, Гомель, Витебск) (рис.1). В ближайшее время планируется установка доплеровских лоаторов в Бресте и Гродно. Радиолокационные наблюдения позволяют получать информацию о распределении поля ветра и отражательной способности в режиме реального времени (10 минут) охватив почти всю территорию страны (радиус 250 км). Сканирование проводится по азимуту и углу места на 34 уровнях, в 2 режимах: режим отражаемость и режим скорость.

В режиме приемника лоатор способен получать информацию о морозящем дожде, слоистой облачности на значительном удалении (порядка 250 – 300 км) и распознавать сигналы высокой мощности от грозных ячеек близости от лоатора. Весь полученный с лоатора сигнал отправляется на процессор обработки сигналов, где производится его оцифровка, фильтрация, демодуляция, предварительная фильтрация помех, пространственно-временная интеграция, определение пороговых значений, а также формирование основных выходных параметров необходимых для ассимиляции: *отражаемости (Z), радиальной скорости (V) и ширины спектра (W)*.

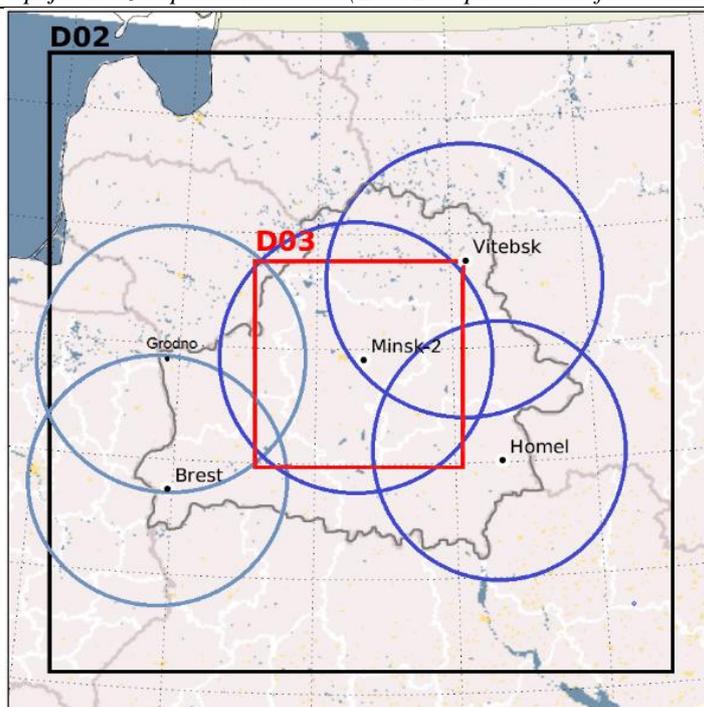


Рис 1. Карта расположения и охвата территории ДМРЛ (Минск-2, Гомель, Витебск), МРЛ-5 (Брест), ДМРЛ Брест и Гродно – планируемые, относительно моделируемых в численном эксперименте областей (D02, D03)

Для успешной ассимиляции радиолокационные данные должны через систему контроля качества. Автором была разработана многоуровневая система качества, позволяющая провести фильтрацию отраженного сигнала, и отсеять на выходе не метеорологическое эхо [1; 3; 4].

Для разработанной системы контроля качества и подготовки данных используется полученная первичная радиолокационная информация ODIM HDF5: горизонтальная отражаемость (DBZH), радиальная скорость (VRAD) и ширина спектра (WRAD).

На первом этапе используется 2-ухуровневая фильтрация на основе фильтра Gabella [4].

Алгоритм данного фильтра направлен на удаление помех от местных объектов (рельеф, здания и т.д.). Данные помехи имеют значительную пространственную неоднородность и изменчивость распределения сигнала, в отличие от метеорологических объектов, что позволяет выделить их на основе анализа отражаемости. Вторая часть фильтрации основана на анализе пространственной непрерывности распределения сигнала в пределах пикселя наблюдений. При превышении определенного порогового значения в пределах рассматриваемого пикселя шум считается не метеорологическим (рис.2).

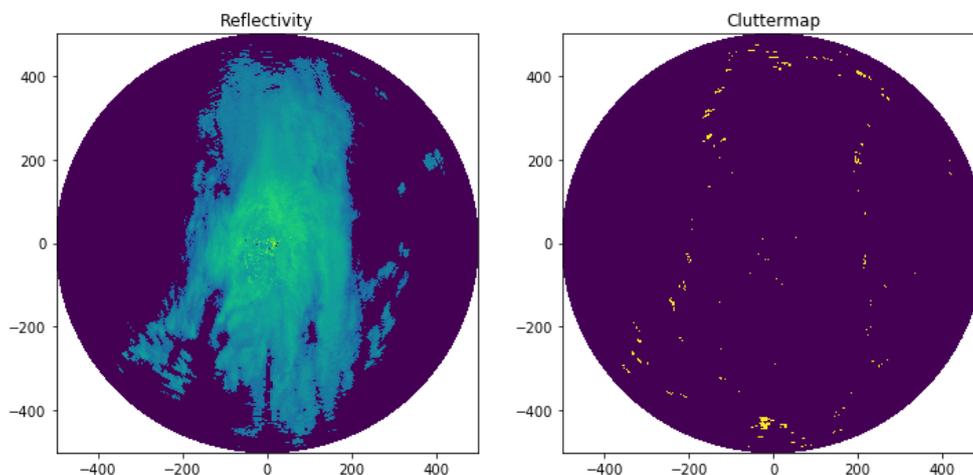


Рис 2. Карта выявления не метеорологического эха ДМРЛ Витебск, слева – PPI отражаемость, справа – PPI шум

Второй метод контроля радиолокационных данных включает программы идентификации помех на основе нечеткой логики для поляризационных характеристик (fuzzy echo classification) [3].

В качестве основных характеристик для выявления не метеорологического эха используются: дифференциальная отражаемость (ZDR); коэффициент корреляции между горизонтальной и вертикальной отражаемостями (RHOV); дифференциальная фаза (PHIDP);

доплеровская скорость (VRAD); статическая карта помех. Для каждой из этих переменных алгоритм использует трапецидальную функцию для определения принадлежности радиозеха к не метеорологическому классу. На основе предварительно определенных весов рассчитывается линейная комбинация степеней принадлежности. При превышении линейной комбинацией порогового значения радиосигнал считается не метеорологическим (рис.3) [3].

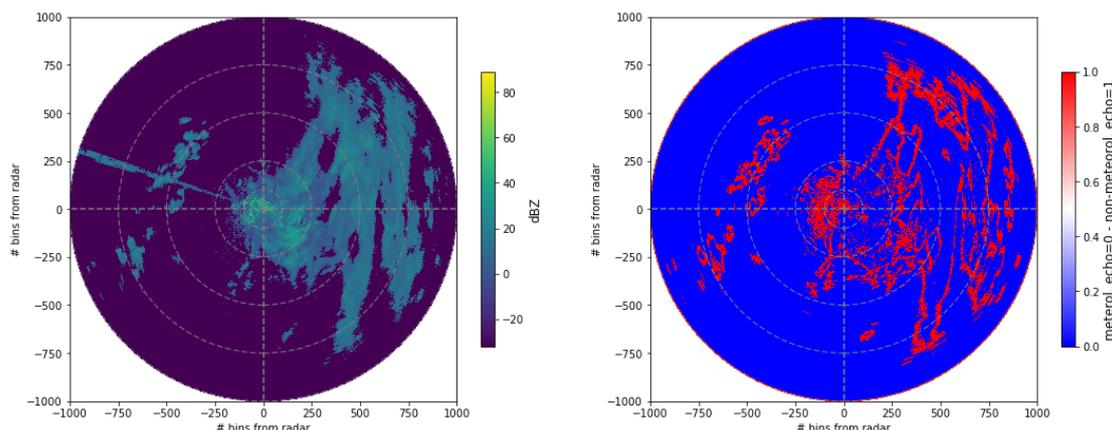


Рис 3. Карта выявления не метеорологического эха ДМРЛ Минск-2, слева – PPI отражаемость, справа – PPI шум

Затем производится конечная подготовка радиолокационных данных, включающая преобразование в координаты системы моделирования WRF-ARW, пересчет компонент скорости ветра и горизонтальной отражаемости на реальные высоты и представление данных в формате, требуемом системой ассимиляции данных 3D-Var. Для обработки применялась библиотека по обработке радиолокационных данных wradlib и язык программирования Python3.7 [3].

#### Ассимиляция радиолокационных данных в модель WRF-ARW.

Метод трехмерного вариационного усвоения (3D-Var) был выбран как базовый для адаптированной системы ассимиляции радиолокационных данных в Белгидромете. Данный метод успешно применяется в системах численного прогноза ALADIN и HIRLAM, MetOffice для усвоения данных дистанционного зондирования, и показал свою лояльность к вычислительным ресурсам для небольших территорий. Кроме того, он позволяет усвоить как наземные, так и дистанционные наблюдения [1;5].

Суть метода трехмерного вариационного усвоения лежит в минимизации функционала от искомого вектора состояния системы  $X$ . Причем этот функционал выбирается так, чтобы отражать степень несогласованности  $X$  с имеющейся как наблюдательной, так и прогностической информацией [5].

Для минимизации данного функционала применяется метод сопряженных градиентов.

Метод базируется на оценке изменения контрольных переменных (температура, удельная влажность, давление на уровне земли, завихренность и дивергенция).

Ассимиляция данных о ветре производится путем пересчета радиальной скорости данных в переменные модели: радиальный ветер  $V_r$  можно определить, используя компоненты ветра ( $u, v, w$ ), вертикальную скорость движения гидрометеоров (связанную с дождевыми каплями)  $V_i$  и расстоянием от радара до данной точки. Вертикальная скорость  $V_i$  рассчитывается из массового содержания дождевых капель  $q_r$  с коррекцией высоты [1].

Ассимиляция данных об отражаемости производится напрямую в модель WRF-ARW через отношение между массовым содержанием дождевых капель (соотношение Маршалла-Палмера для дождевых капель).

#### Вычислительный эксперимент.

В численном эксперименте были промоделированы случаи выпадения сильных ливневых осадков на территории Республики Беларусь летом 2017 г. и в зимний период 2020 г., зафиксированные локаторами.

Численный эксперимент базировался на системе мезомасштабного численного моделирования WRF-ARW, применяемой в Белгидромете. Модель WRF-ARW содержит негидростатические уравнения для сжимаемой жидкости и использует схемы параметризации для описания физических процессов подсеточного масштаба (микрофизические, конвективные и др.).

Это позволяет моделировать конвективные облачные системы с в высоком пространственном разрешении [6].

В качестве первичного источника граничных и исходных данных для усвоения использовался прогноз глобальной модели GFS (Global Forecast System) [2]. Радиолокационные наблюдения, прошедшие контроль качества и подготовку, усваивались в срок близкий к исходному сроку прогноза (00 и 18 UTC) во временном окне  $\pm 1$  ч, методом 3D-Var [1]. Фоновые ковариации ошибок прогнозов были рассчитаны для 10-дневного периода июля 2017 и февраля 2020 года, в связи с

наличием в данный период активных конвективных систем на территории Республики Беларусь. Расчет проводился на основе метода NMC (Пэрриш и Дербер) [1]. Этот метод предполагает, что статистическая структура ошибок прогноза изменяется незначительно в пределах 48 ч. При этом пространственные корреляции фоновой ошибки должны быть аналогичными при оценке для 24 ч и для 48 ч [1; 4]. Прогноз моделировался с заблаговременностью +24 часа, в 3 пространственных разрешениях: 9, 3 и 1 км (рис. 4) (табл. 1).

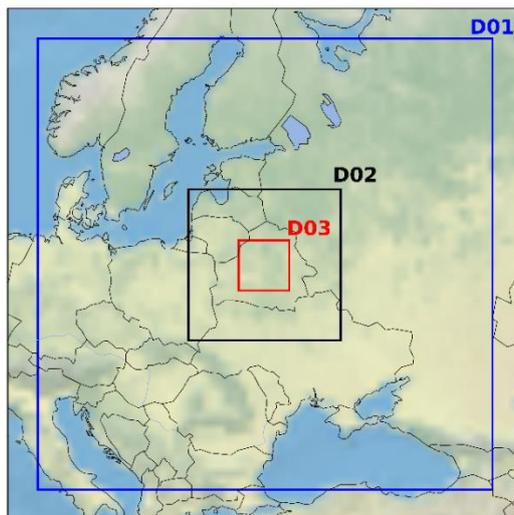


Рис 4. Карта охвата территории областей (доменов) 9 км (D01), 3 км (D02), 1 км (D03) вычислительного эксперимента

Выбранные пространственные разрешения позволяют зафиксировать конвективные процессы не только с помощью использования схем

параметризации внутри модели для 9 км (D01), но и разрешить конвекцию напрямую на 3 (D02) и 1 (D03) км [6].

Таблица 1

#### Описание основных параметров моделирования

ЧПП	WRF-ARW 4.0
Начальные и граничные условия	GFS (Global Forecast System), каждые 3 часа $0.25^\circ \times 0.25^\circ$
Горизонтальное и вертикальное разрешение	9 км (300×300), 3 км (300×300), 1 км (300×300). 40 вертикальных Eta уровней
Дни моделирования (исходный срок)/+24 ч	2017-08-10 (00 UTC), 2020-02-18 (12 UTC)
Параметризации процессов: -Микрофизика -Конвекция	WSM6; Каина - Фритца (без параметризации 3,1 км;
Метод ассимиляции данных	3DVAR (WRFDA)
Ассимилируемые параметры (дальность наблюдений)	Отражаемость (250 км), радиальная скорость (150 км), 13 вертикальных уровней.
Окно усвоения данных	$\pm 60$ мин

#### Оценка результатов ассимиляции радиолокационных данных на прогноз численной модели WRF.

Для оценки влияния ассимиляции радиолокационных данных на результаты прогноза проводилась статистическая и объектно-ориентированная оценка [7]. Статистическая оценка проводилась по данным наблюдений наземных станций Беларуси, где было

зафиксировано максимальное количество выпавших осадков, и радиолокационным наблюдениям.

Выпадение сильных осадков 10.08.2017 г. наблюдалось по северу Республики (рис.5). Несмотря на то, что в начальные часы моделирования происходит так называемый «разогрев» модели, оценка результатов прогноза в данный день показал положительное влияние

ассимиляции данных (Минск-2) именно на прогноз осадков в ранние часы моделирования [8]. Максимальное количество осадков выпало в первые 3 часа прогноза – 20.71 мм, на станции Верхнедвинск также были зафиксированы сильные

осадки – 19 мм. Вариант без усвоения (NA) спрогнозировал только 3.69 мм. В первые 7 часов прогноза ошибка по температуре на 2 м была меньше в варианте с ассимиляцией.

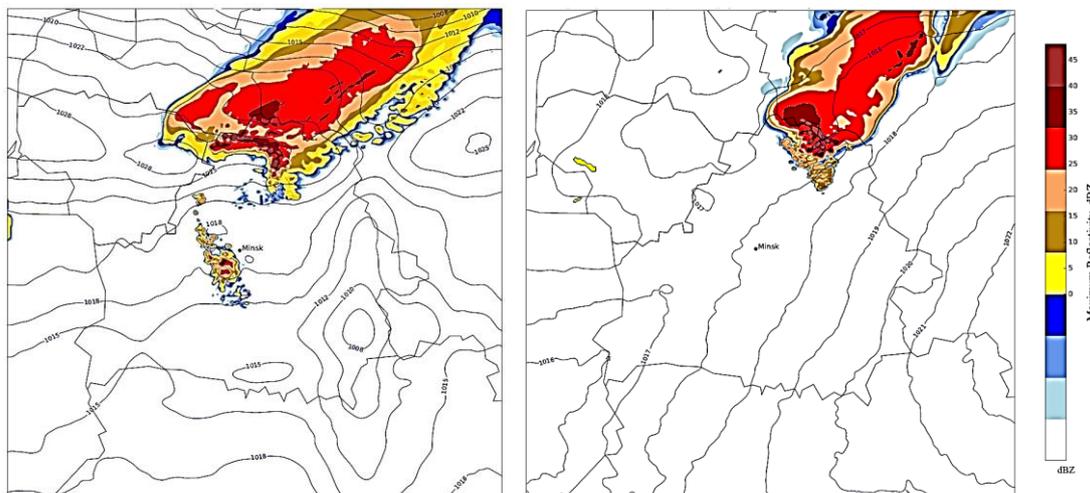


Рис. 5. Карты зон максимальной смоделированной радиолокационной отражаемости D02 на 10.08.2017 г. 20 UTC, линии - приземное давление, слева – с ассимиляцией, справа – без ассимиляции

Второй пик выпадения осадков был зафиксирован на 15 часу прогноза: на станции – 0.3 мм, без усвоения (NA) – 0.4 мм, с усвоением (AS) – 11.7 мм. В данном случае более точным оказался вариант без усвоения (NA). Прогноз температуры воздуха на 2 м на первых 12 часах прогноза более точно спрогнозировал вариант с усвоением (AS),

после 12 часов – без усвоения (NA). Возможной причиной такого распределения может быть специфика времени выпадения осадков внутри 12 ч. Наиболее точно спрогнозировал первый пик для метеостанции Минск вариант без ассимиляции (NA) – 18.54 мм, с ассимиляцией (AS) – 11.3 мм, на станции – 18 мм (рис.6).

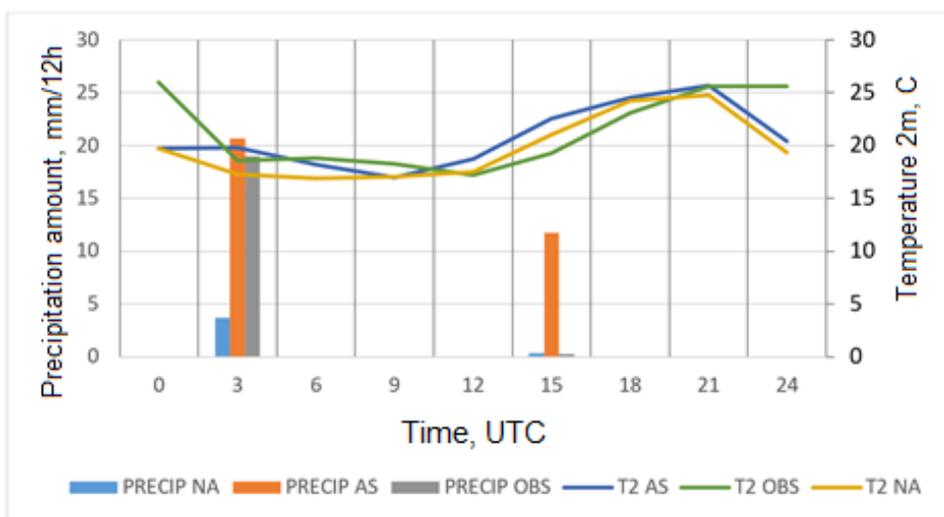


Рис. 6. Распределение смоделированных показателей температуры на 2 м (T2), количества осадков (PRECIP) без ассимиляции (NA), с ассимиляцией (AS), на станции (OBS) Верхнедвинск, D01, 10.08.2017 г.

В качестве второго случая выпадения ливневых осадков было выбрано 18 февраля 2020 г. В этот день через территорию Республики и город Минск проходил холодный грозовой фронт, что достаточно редкое явление в зимний период. На метеостанции Минск выпало порядка 3 мм осадков. Осадки пришлись на первые 2 часа после ассимиляции данных (Минск-2, Гомель, Витебск). Ассимиляция данных позволила значительно

точнее смоделировать пространственное распределение фронта и зон выпадения осадков, что видно на карте радиолокационных наблюдений (рис.7).

По данным радиолокационных наблюдений зоны выпадения осадков визуализировались в виде линейной структуры, вытянутой с севера на юг, таким же образом и распределились зоны в варианте с ассимиляцией. Вариант без усвоения

смоделировал области выпадения осадков в виде эллипсоидов с ориентацией с запада на восток [9]. Кроме того, усвоение данных позволило более

точно смоделировать область выпадения осадков восточнее границ Беларуси.

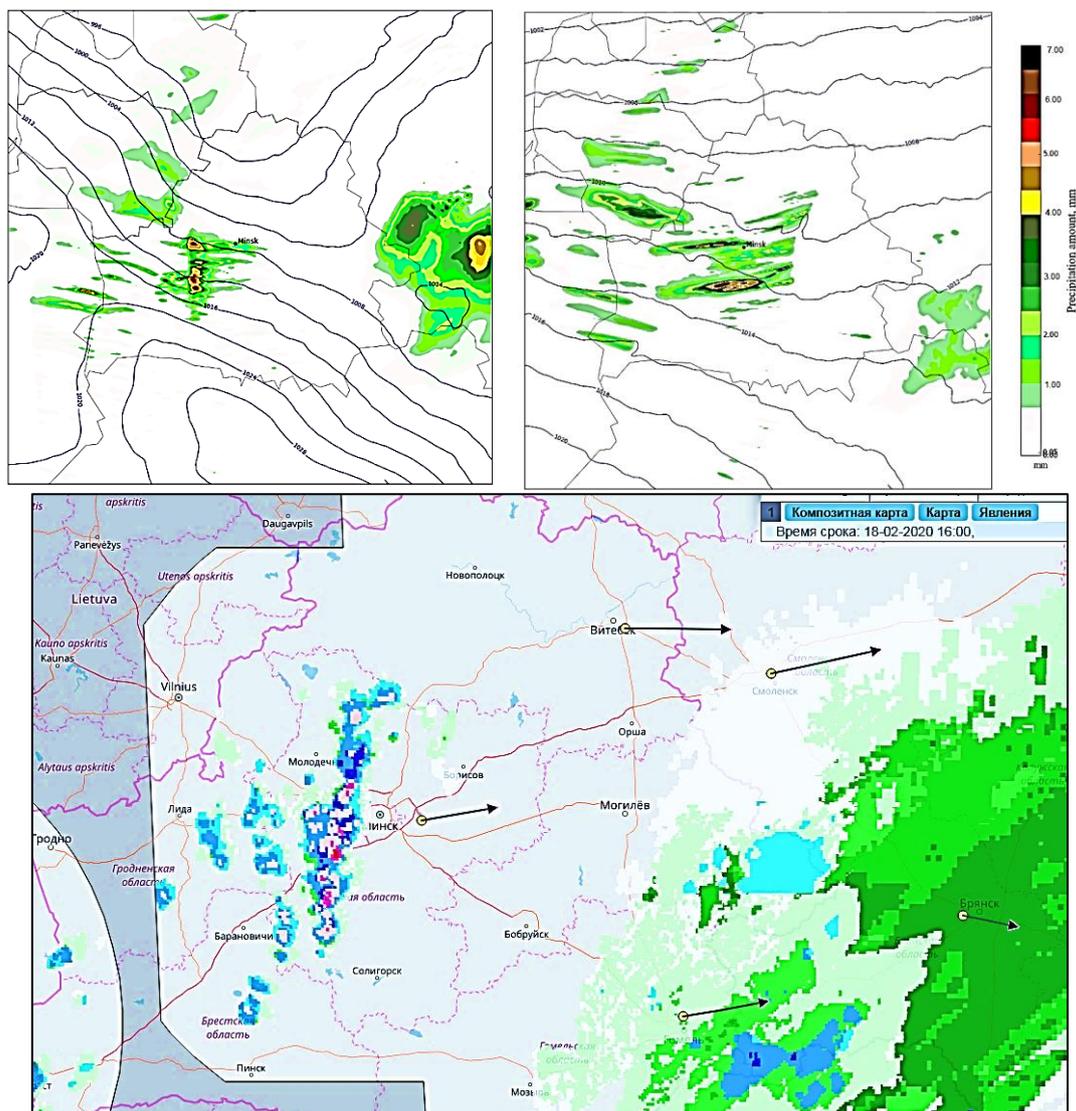


Рис. 7. Карты зон выпадения осадков область D02 на территории Беларуси 10.08.2017 г. 20 UTC, линии - приземное давление, слева – с ассимиляцией, справа – без ассимиляции, внизу – композитная карта радиолокационных наблюдений

В 16 часов UTC фронт проходил через территорию минской области, и на станции Столбцы были зафиксирован осадки и шквалистое усиление ветра. Вариант с ассимиляцией данных позволил более точно спрогнозировать скорость ветра на 10 м в первые 5 часов моделирования,

затем ошибка варианта с усвоением была больше (рис.8). Это может быть связано с более ранним формированием конвективных систем, продуцирующих осадки относительно начального срока усвоения: первый час осадков с ассимиляцией – +3 ч, без ассимиляции – +6 ч.

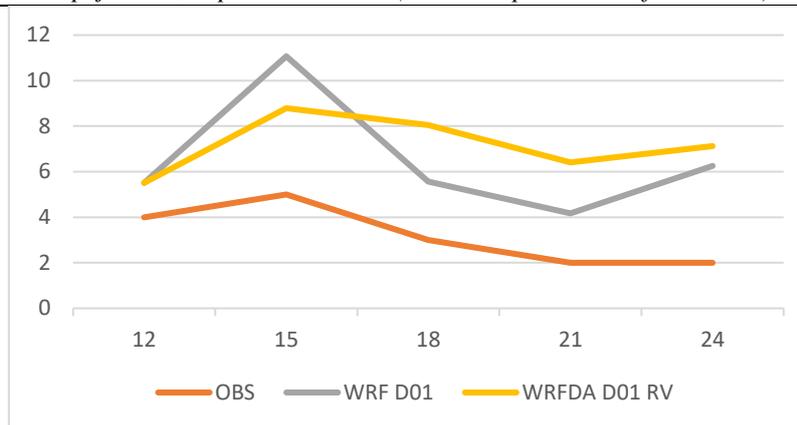


Рис. 8. График распределения скорости ветра на 10 м (м/с) на станции Столбцы, OBS – наблюдения, WRF D01 – без ассимиляции, WRFDA D01 RV – с ассимиляцией, 18.02.2020 г.

Статистическая оценка количества выпавших осадков на станции Столбцы говорит о превышении абсолютных значений для варианта с усвоением на +6 ч: наблюдалось – 0.6 мм, без усвоения – 0.59 мм, с усвоением – 1.39 мм.

#### Заключение

Основной целью данной статьи было представление результатов разработки системы контроля и подготовки данных отражаемости и радиальной скорости с белорусских доплеровских локаторов (Минск-2, Гомель, Витебск) для ассимиляции в численную модель WRF-ARW с помощью адаптированной системы усвоения. А также оценка результатов моделирования выпадения осадков на территории Беларуси с ассимилированными радиолокационными данными в летний и зимний период.

Автором была разработана адаптированная система подготовки и контроля радиолокационных данных, выключая фильтрацию помех радиолокационных полей, с помощью методов Gabella и fuzzy echo classification, расчет координат и подготовку формата данных для усвоения в модель WRF-ARW методом трехмерного вариационного усвоения (3D-VAR) [1; 3; 4; 5]. В качестве эксперимента были промоделированы 2 случая выпадения конвективных осадков на территории Беларуси летом 2017 г. и в феврале 2020 г, включающие моделирование с ассимиляцией и без.

Оценка результатов моделирования осадков на территории Беларуси показала, что ассимиляция данных радиальной скорости ветра и горизонтальной отражаемости оказали положительное влияние на прогноз за счет уменьшения ошибки прогноза скорости ветра и уточнения положения центров выпадения осадков на первых часах прогноза для зимнего варианта [8]. В летнем случае усвоение радиолокационных данных позволило сделать более точный прогноз количества осадков и температуры в первые 7 часов прогноза. В обоих случаях прогноз пространственного распределения зон выпадения осадков был точнее в варианте с усвоением. В случае выпадения конвективных осадков в зимний

период ассимиляция данных позволила точнее отразить положение и ориентацию грозового фронта. Несмотря на это на более поздних часах ошибка прогноза осадков и скорости ветра была меньшей для варианта без ассимиляции.

Предварительный анализ результатов работы адаптированной системы ассимиляции радиолокационных данных, говорит о возможности ее использования для целей сверх краткосрочного прогноза, а также для уточнения местоположения конвективных систем в летний период. Сейчас система требует более детального тестирования для случаев конвективного выпадения осадков на территории страны. Кроме того, планируется внедрение более совершенных методов ассимиляции (4D-VAR, фильтр Калмана), позволяющие ассимилировать дистанционные наблюдения более эффективно [10].

#### Библиографические ссылки

1. Gustafsson N., and Coauthors. Survey of data assimilation methods for convective-scale numerical weather prediction at operational centres // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2018. 144. P. 1218–1256.
2. Зайко П.О. Система усвоения наземных и аэрологических наблюдений в мезомасштабную численную модель WRF-ARW в Белгидромете // Природные ресурсы. 2019, №1. С.89.
3. Gianfranco Vulpiani, Mario Montopoli, Luca Delli Passeri, Antonio G. Gioia, Pietro Giordano, and Frank S. Marzano. On the use of dual-polarized c-band radar for operational rainfall retrieval in mountainous areas. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 51(2):405–425, Feb 2012. doi:10.1175/JAMC-D-10-05024.1.
4. Morin, E.; Gabella, M. Radar-based quantitative precipitation estimation over Mediterranean and dry climate regimes. J. Geophys. Res. 2007, 112, 1.
5. Ипатова В.М., Шутяев В.П. Алгоритмы и задачи ассимиляции данных для моделей динамики атмосферы и океана // Научно-образовательный курс. Долгопрудный: МФТИ. 2013. С.30.

6. Skamarock W.C. et al. A description of the Advanced Research WRF Version 3: NCAR Techn. Note/ ed.: Skamarock W.C. et al. Boulder // National Center for Atmospheric Research. 2008. P.125 p.
7. Davis C.A. et al. The method for object-based diagnostic evaluation (MODE) applied to numerical forecasts from the 2005 NSSI/SPC spring program // Mon. Forecasting. 2009. vol. 24. № 5. P. 1252-1267.
8. Borderies M. et al. Impact of airborne cloud radar reflectivity data assimilation on kilometre-scale numerical weather prediction analyses and forecasts of heavy precipitation events // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2019. vol.19. P.907-926.
9. Кисельникова В.З. Объектно-ориентированная оценка качества прогноза осадков // Метеорология и гидрология. 2013. № 4. С.5-11.
10. Ballard S.P., Li Z., Simonin D. and Caron J.-F. Performance of 4D-Var NWP-based nowcasting of precipitation at the Met Office for summer 2012 // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2016. 142. p. 472–487.

УДК 502.521:504.5:711.55+631.44: 911.372

**Khokhryakova A. I.**  
chief soil engineer,  
Odessa Branch of the State Institution  
«Soil protection Institute of Ukraine»

### THE CONTENT OF HEAVY METALS IN SOILS OF ODESSA CITY

**Хохрякова А. И.**  
главный инженер-почвовед  
Одесской филии государственного предприятия  
«Институт охраны почв Украины»

### СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ГОРОДА ОДЕССЫ

**Summary.** The determination of the content of heavy metals and the analysis of the physicochemical properties of Odessa soils were carried out in 40 soil sections and 18 diggings, which covered typical soil formation conditions, features of anthropogenic influence and soil diversity. Four groups of soil types were distinguished: natural soils, anthropogenic surface- and deeplytransformed, technological soils in Odessa. Soils are characterized by medium and high levels of humus content in the top soils. Soil environment reaction is close to neutral and mid-alkaline, particle size distribution is from loamy to clay loamy. The indicators of the heavy metals content in the humus soils layer of Odessa have high variability. In urbanozems, an excess of the maximum permissible concentration for the content of lead (11 times higher) and copper (4 times higher), in meadow and meadow-bog for the content of cadmium (3 times higher) and zinc (40 times higher) was recorded. Southern chernozems (in terms of the index of the lead, copper and zinc content), recreazems and chillozems (in terms of the index of the cadmium and copper content), urbanchernozems (in terms of the index of copper) have an optimal conditional in accordance with the concentration index and the total pollution index. In all other researched soils of the city, the accumulation of contaminant elements was noted.

**Аннотация.** Определение содержания тяжелых металлов и анализ физико-химических свойств почв г. Одессы проведены в 40 почвенных разрезах и 18 прикопках, которые охватили типичные условия почвообразования, особенности антропогенного влияния и разнообразие почв. В городе Одессе выделено четыре группы типов почв: естественные почвы, антропогенные поверхностно- и глубоко-преобразованные, техногенные почвы. Почвы характеризуются средним и повышенными уровнями содержания гумуса в верхних генетических горизонтах. Реакция почвенной среды близка к нейтральной и среднещелочная, гранулометрический состав – от супесчаного до тяжелосуглинистого. Показатели содержания тяжелых металлов в гумусовых горизонтах почв города Одессы имеют высокую вариативность. В урбаноземах зафиксировано превышение предельно допустимой концентрации по содержанию свинца (в 11 раз) и меди (в 4 раза), в луговых и лугово-болотных – кадмия (в 3 раза) и цинка (в 40 раз). В соответствии с величиной коэффициента концентрации и суммарного показателя загрязнения черноземы южные (по показателям содержания свинца, меди, цинка), рекреаземы и хиллоземы (по показателям содержания кадмия, меди), урбачерноземы (по показаниям меди) имеют оптимальное состояние. Во всех остальных исследуемых почвах города отмечено накопление элементов-загрязнителей.

**Keywords:** *Odessa, urbanozems, heavy metals, classification of urban soils, total pollution index*

**Ключевые слова:** *Одесса, урбаноземы, тяжелые металлы, классификация городских почв, суммарный показатель загрязнения почв.*

#### Введение

Городские почвы – достаточно специфический объект исследований, которому еще двадцать лет назад почвоведы уделяли мало внимания.

Объектами исследований выступали природные почвы и процессы, протекающие в них. За относительно короткий срок накопилось большое количество информации об основных свойствах