

**Использование сверхдолгосрочных прогнозов
модели Земной системы ИВМ РАН для
специализированного обслуживания секторов
экономики**

**Decadal forecasts of the INM RAS Earth System
model for specialized forecast to economic sectors**

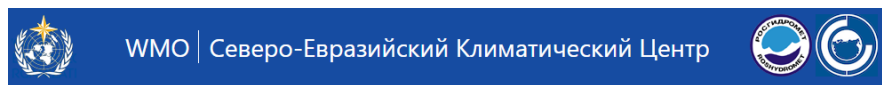
Светлана Емелина, Валентина Хан
(Гидрометцентр России/ИВМ РАН)
tkachukzn@gmail.com

Международная конференция
«Физика атмосферы и климата»

6-9 апреля 2026

г. Кисловодск, Россия

Specialized forecasts for economic sectors on various time scales



- Главная » Климатические прогнозы
- КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ
 - СЕЗОННЫЕ ПРОГНОЗЫ
 - ИНДЕКСЫ ЦИРКУЛЯЦИИ
 - ИНДЕКС ЗАСУШЛИВОСТИ ПЕДЯ И SPI
 - ВНУТРИСЕЗОННЫЕ ПРОГНОЗЫ
 - ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ЯВЛЕНИЯ
 - ДЕСЯТИЛЕТНИЕ ПРОГНОЗЫ
 - ОБЗОР ОЖИДАЕМЫХ АНОМАЛИЙ
 - ПРОГНОЗ НА ОКТЯБРЬ-МАРТ/ АПРЕЛЬ-СЕНТЯБРЬ
 - СТАТИСТИЧЕСКАЯ
 - СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПРОГНОЗЫ**
 - КОНSENSУСНЫЙ ПРОГНОЗ
 - ПРОГНОЗЫ ГЛОБАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ
 - ВЕРИФИКАЦИЯ И МОНИТОРИНГ ПРОГНОЗОВ

Специализированные прогнозы

Специализированные прогнозы, представленные в данном разделе, рассчитываются по данным модели Земной системы ИВМ РАН

Прогноз начала цветения берёзы

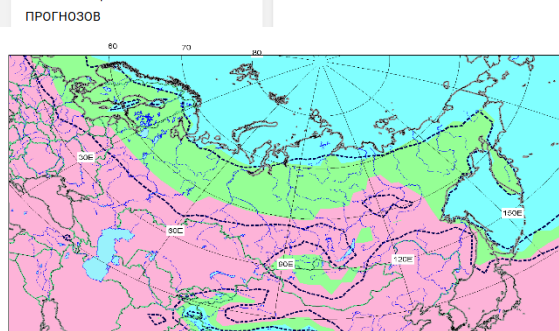
Прогноз засушливых условий

Прогноз комфортности погодных условий

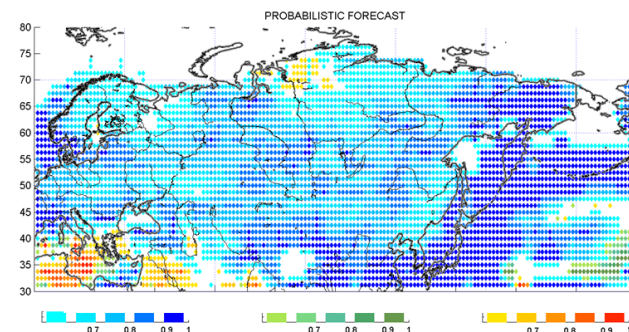
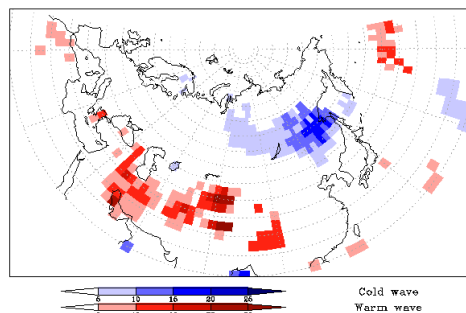
Прогноз характеристик морского льда

Sub-seasonal: Drought indices, Heat/cold waves, EFI

Seasonal: Weather comfort, Sea surface temperature, Allergy forecast, Fire danger in forests, Forecast for the heating and growing seasons



Duration (days) of cold ($P < 10\%$) and warm ($P > 90\%$) waves
HMC forecast for 30 days started on: 20260219



Subseasonal (weeks)

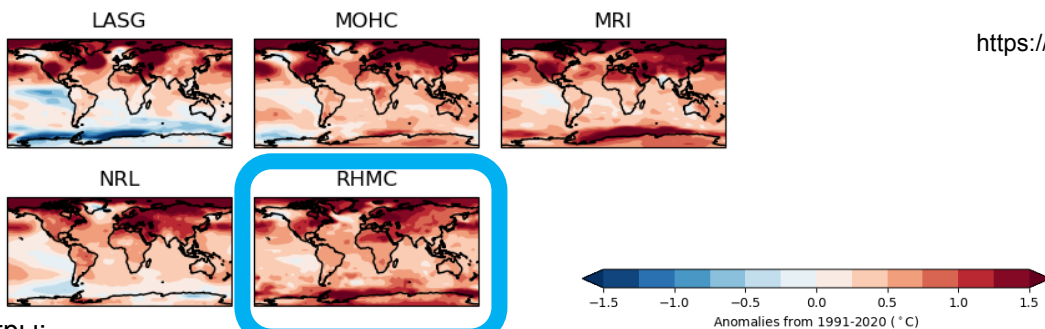
Seasonal (months)

Decadal (1-10 years)

Оперативные сверхдолгосрочные прогнозы модели INM-CM

Межгодовые (от 1 года до десятилетия) климатические прогнозы на базе модели INM-CM выпускаются по протоколу ВМО при сотрудничестве ИВМ РАН и ФГБУ «Гидрометцентр России»:

- 2023: году прошли ЦМКП Росгидромета и получили статус оперативных.
- 2024: Гидрометцентр России совместно с ИВМ РАН стали ассоциированными членами консорциума по годовому и десятилетнему прогнозированию ([LD-ADCP WMO](https://ld-adcp.wmo.int/)).



Параметры:

- Начало экспериментов **1 ноября, HIND 1960-2022**;
- Продолжительность – **5 лет**;
- **15** членов ансамбля;
- Данные реанализа атмосферы, почвы, поверхностных характеристик (ERA5);
- Данные реанализа океана и морского льда(SODA3.4.2);
- Задание начального состояния в терминах аномалий
- Внешние воздействия (концентрации парниковых газов и атмосферных аэрозолей, параметры радиационного форсинга и т.д.): до 2014 г. согласно рекомендациям проекта CMIP6 для исторического эксперимента; начиная с 2015 г. использовались значения внешних воздействий сценария SSP3-7.0 CMIP6

[Vorobyeva (Bragina) V., Volodin E., Tarasevich M., Gritsun A., 2022-2024]

Уязвимая область: сельское хозяйство

- Засухи — одно из самых дорогостоящих стихийных бедствий, происходящих ежегодно, оказывающих значительное воздействие и имеющих глобальный характер, затрагивающих одновременно многие экономические сектора и население (ВМО, 2016).
- По оценкам (FAO, 2016) около 40 % всего ущерба, наносимого неблагоприятными погодно-климатическими явлениями, приходится на сельское хозяйство;
- на территории основных сельскохозяйственных областей России наблюдается рост степени засушливости, что ведет к снижению урожайности (Росгидромет, 2023);
- значительная часть территории РФ, располагается в зоне неустойчивого и/или недостаточного увлажнения, прогноз засушливых явлений приобретает особую актуальность;
- применение эффективных обоснованных стратегий в земледелии может снизить риски недобора урожайности, связанные с погодно-климатической составляющей (Романенков и др., 2018)

Возможности адаптации на периодах от года

- ✓ Внедрение жаро- и засухоустойчивых культур;
- ✓ Разработка и использование минеральных и органических удобрений нового поколения; Применение химических средств защиты растений;
- ✓ Модернизация сельскохозяйственной техники и ирригационных систем;
- ✓ Защита почв от окисления и эрозии;
- ✓ Наряду с мерами адаптации необходимо разработать и внедрить эффективные механизмы страхования и государственной поддержки сельскохозяйственных производителей.

Variations in grain crop yields (%) in extreme years (dry and wet)

	2010	2012	2017	2022
ЦЧО	-51%	-18%	+14%	+12%
Средняя Волга	-68%	-38%	+31%	+38%
Юг Урала	-77%	-35%	+31%	+40%

**Source: Agricultural Department of the Hydrometeorological Center of Russia*

Poster presentation

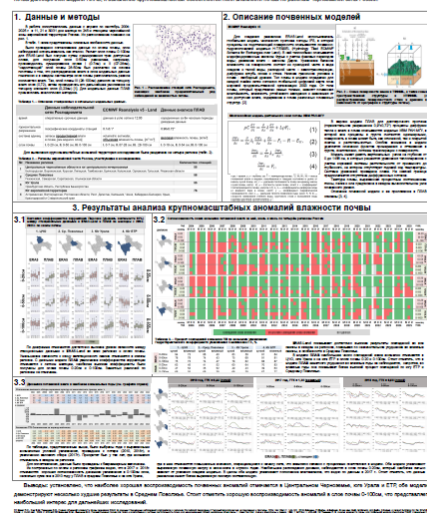
Кланг П.С., Тарасова Л.Л., Хан В.М.

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ ПО ДАННЫМ СТАНЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, РЕАНАЛИЗА ERA5-LAND И ДАННЫМ АНАЛИЗА МОДЕЛИ ПЛАВ НА ТЕРРИТОРИИ ЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РОССИИ

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ ПО ДАННЫМ СТАНЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, РЕАНАЛИЗА ERA5-LAND И ДАННЫМ АНАЛИЗА МОДЕЛИ ПЛАВ НА ТЕРРИТОРИИ ЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Кланг П.С., Тарасова Л.Л., Хан В.М.
Гидрометеорологический центр России, Москва, Россия

Актуальность исследования: влажность почвы в сельском хозяйстве играет ключевую роль для повышения качества продукции. Однако мониторинг влажности почвы с помощью традиционных методов (например, с помощью датчиков) является дорогостоящим и трудоемким процессом. В последние годы в России активно развивается направление по использованию данных дистанционного зондирования для мониторинга влажности почвы. В рамках данной работы были проведены исследования по оценке влажности почвы с помощью данных дистанционного зондирования (ERA5-Land) и данных анализа модели ПЛАВ на территории черноземной зоны России.



The main tool for monitoring and forecasting droughts: aridity indicators and indices

World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: *Handbook of Drought Indicators and Indices* > 30 Indices *

Air temperature,
Precipitation

Air temperature
+ Precipitation

More complex (soil moisture, solar
radiation, satellite data etc)

Meteorology	Page	Ease of use	Input parameters
Aridity Anomaly Index (AAI)	11	Green	P, T, PET, ET
Deciles	11	Green	P
Keetch-Byram Drought Index (KBDI)	12	Green	P, T
Percent of Normal Precipitation	12	Green	P
Standardized Precipitation Index (SPI)	13	Green	P
Weighted Anomaly Standardized Precipitation (WASP)	15	Green	P, T
Aridity Index (AI)	15	Yellow	P, T
China Z Index (CZI)	16	Yellow	P
Crop Moisture Index (CMI)	16	Yellow	P, T
Drought Area Index (DAI)	17	Yellow	P
Drought Reconnaissance Index (DRI)	17	Yellow	P, T
Effective Drought Index (EDI)	18	Yellow	P
Hydro-thermal Coefficient of Selyaninov (HTC)	19	Yellow	P, T
NOAA Drought Index (NDI)	19	Yellow	P
Palmer Drought Severity Index (PDSI)	20	Yellow	P, T, AWC
Palmer Z Index	20	Yellow	P, T, AWC
Rainfall Anomaly Index (RAI)	21	Yellow	P
Self-Calibrated Palmer Drought Severity Index (sc-PDSI)	22	Yellow	P, T, AWC
Standardized Anomaly Index (SAI)	22	Yellow	P
Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)	23	Yellow	P, T

1. **HTC****: the ratio of precipitation to temperature during periods with temperatures above +10°C. Used in the operational practice of the agricultural department of the Hydrometeorological Center for drought assessment.

2. **SPEI***** (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) uses monthly climatic water balance (defined as the difference between monthly precipitation and potential evapotranspiration (PET))

**** Used in (Solaraju-Murali et al., 2022) in assessing the use of decadal forecasts for the agricultural sector

*https://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf

** Селянинов Г. Т. 1928. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды сельскохозяйственной метеорологии, вып. 20, с. 165 – 177.

*** Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S. & López-Moreno, J. I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. J. Clim. 23, 1696–1718 (2010).

**** Solaraju-Murali, B. How decadal predictions entered the climate services arena: an example from the agriculture sector / Solaraju-Murali B., Bojovic, Nicodemou A., Gonzalez-Reviriego // [Climate Services](#). – 2022. – vol. 27. – pp. 173–196.

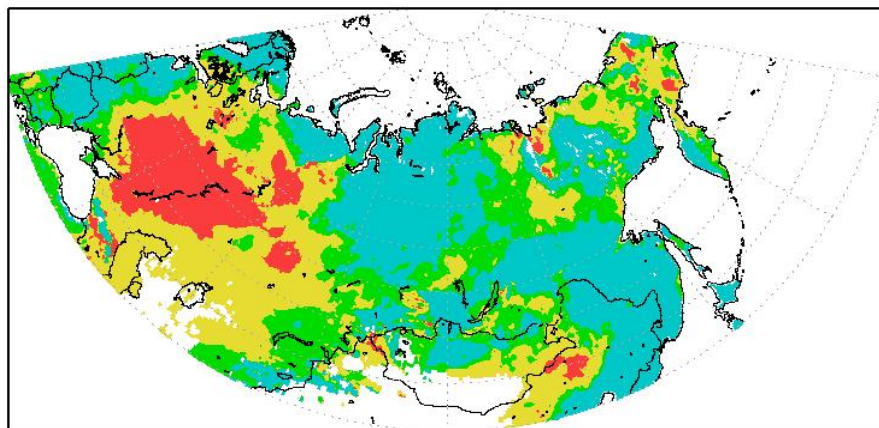
Comparison

Drought intensity criteria based on SPEI and HTC indices (Emelina et al., 2025)

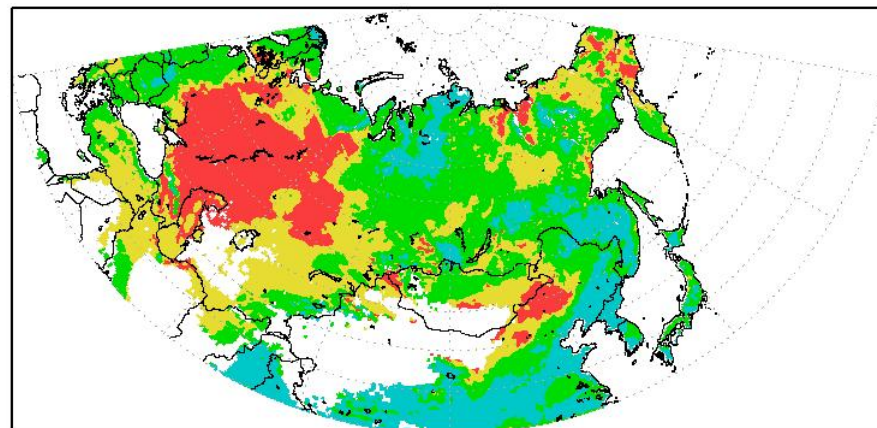
Очень сильная (экстремальная) засуха	$SPEI \leq -2$	$ГТК \leq 0,3$
Сильная засуха	$-2 < SPEI \leq -1,5$	$0,3 < ГТК \leq 0,6$
Слабая засуха	$-1,5 < SPEI \leq -1$	$0,6 < ГТК \leq 0,8$
Умеренное или достаточное увлажнение	$-1 < SPEI \leq 0$	$ГТК \geq 0,81$

Summer-2010 (Reanalysis, ERA-5, 2.5°x2.5 °)

SPEI



ГТК



Linear trends of indices (summer) by district for 1991-2020 (units/10 years, ERA5)

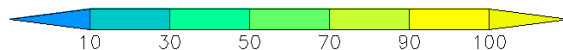
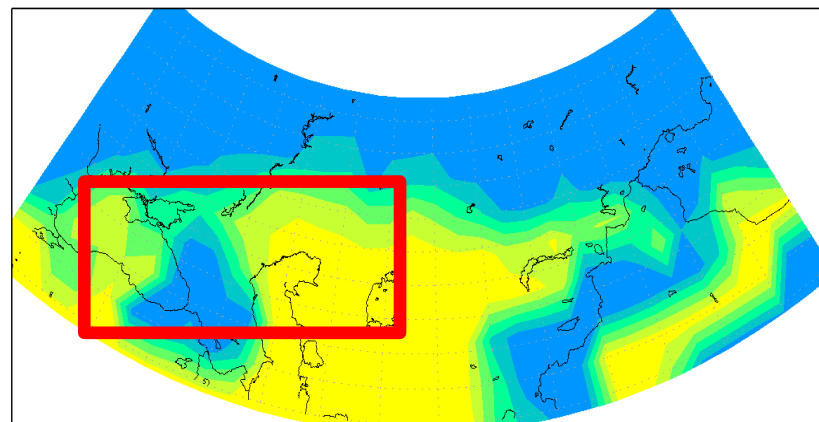
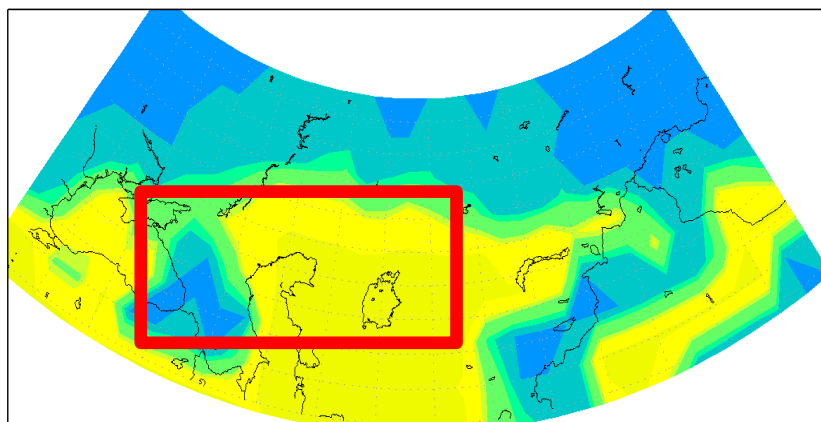
Federal District	Северо-Западный	Центральный	Приволжский	Южный	Северо-Кавказский	Уральский	Сибирский	Дальневосточный
ГТК	-0,03	-0,08	-0,07	-0,04	-0,02	-0,01	0,00	0,01
SPEI	-0,02	-0,09	-0,10	-0,06	-0,01	-0,02	-0,01	0,02

Рост засушливости

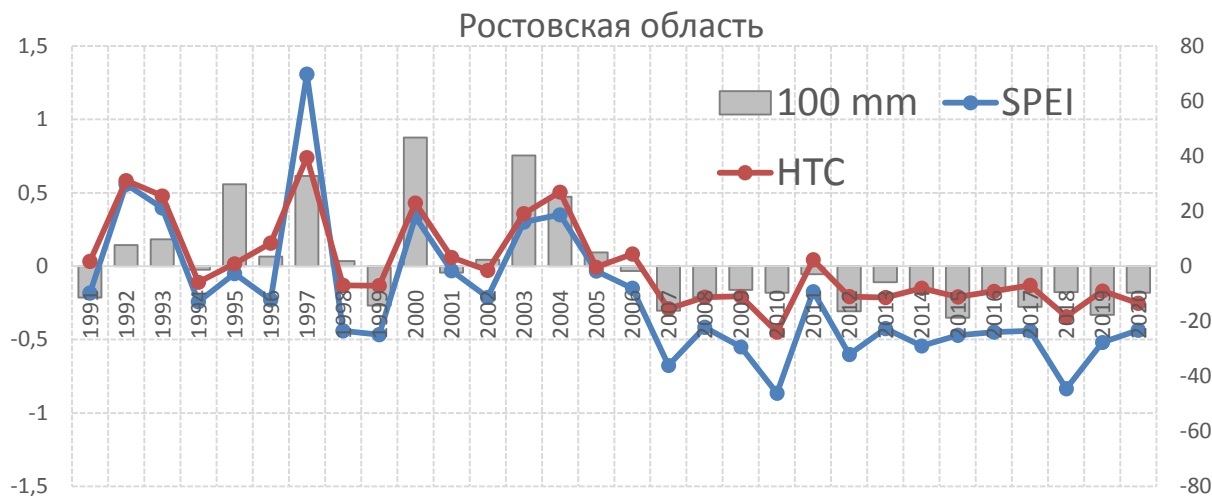
снижение засушливости

Повторяемость экстремальной засухи (в %) на юге ЕТР и на территории Средней Азии по данным ГТК (а) и SPEI (б) в период 1991–2020 гг.

ГТК SPEI



Comparison with soil moisture anomalies at a depth of 100 cm from agrometeorological stations



Correlation coefficients between soil moisture anomalies (station data) and SPEI and ГТК aridity indices for summer conditions 1991–2020

Субъект РФ	r (SPEI и ВЗ)	r (ГТК и ВЗ)	r (SPEI и ГТК)
Орловская	0,59 (0,51-0,66)	0,57 (0,49-0,64)	0,92 (0,90-0,94)
Воронежская	0,67 (0,60-0,73)	0,64 (0,56-0,70)	0,95 (0,93-0,96)
Липецкая	0,56 (0,48-0,63)	0,53 (0,45-0,60)	0,96 (0,95-0,97)
Тамбовская	0,60 (0,52-0,67)	0,61 (0,53-0,68)	0,94 (0,92-0,95)
Курская	0,61 (0,53-0,68)	0,64 (0,56-0,70)	0,68 (0,60-0,75)
Белгородская	0,70 (0,63-0,76)	0,62 (0,54-0,69)	0,92 (0,90-0,94)
Ульяновская	0,67 (0,60-0,73)	0,68 (0,61-0,74)	0,93 (0,91-0,95)
Пензенская	0,62 (0,54-0,69)	0,64 (0,56-0,71)	0,96 (0,95-0,97)
Самарская	0,66 (0,59-0,72)	0,68 (0,61-0,74)	0,95 (0,94-0,96)
Саратовская	0,41 (0,31-0,50)	0,49 (0,39-0,57)	0,92 (0,90-0,94)
Оренбургская	<u>0,29 (0,18-0,39)</u>	<u>0,24 (0,13-0,34)</u>	0,97 (0,96-0,98)
Волгоградская	0,56 (0,47-0,64)	0,47 (0,38-0,55)	0,90 (0,87-0,92)
Ростовская	<u>0,78 (0,72-0,83)</u>	<u>0,78 (0,72-0,83)</u>	0,96 (0,95-0,97)
Краснодарский край	0,45 (0,35-0,54)	0,54 (0,45-0,62)	0,92 (0,90-0,94)
Ставропольский край	0,57 (0,49-0,64)	0,55 (0,47-0,62)	0,93 (0,91-0,95)
Башкирия	0,63 (0,55-0,70)	0,56 (0,48-0,63)	0,95 (0,94-0,96)
Средний	0,59 (0,51-0,66)	0,58 (0,50-0,65)	0,92 (0,90-0,94)

Drought in Northern Eurasia INM-CM hindcasts and ERA5 Reanalysis

- Drought Characteristics: SPEI and HTC
- Time: Summer (June-August)
- Period: 1991-2020
- Quality Assessments: Linear Trend Coefficient, RMSE, ACC
- Regions: Northern Eurasia, southern European Russia and Cacausis, southern Siberia, Central Asia

Trends in SPEI, HTC, and precipitation for ERA5 and INM-CM5 historical forecasts, 1991–2020

HTK (un./10 years)

HTC	Северная Евразия	Юг ETP	Юг Сибири	Центральная Азия
ERA	-0,06	-0,09	-0,08	-0,06
INM-CM hind	-0,03	-0,02	0,13	0,03
RMSE	0,28	0,29	0,37	0,28
ACC	0,59	0,51	0,65	0,62

SPEI (un./10 years)

HTC	Северная Евразия	Юг ETP	Юг Сибири	Центральная Азия
ERA	-0,06	-0,09	-0,08	-0,06
INM-CM hind	-0,05	-0,06	0,04	0,00
RMSE	0,20	0,24	0, 26	0,23
ACC	0,61	0,56	0,55	0,62

По реанализу ERA5 во всех регионах наблюдается тренд на увеличение засушливости. Хиндкасты INM воспроизводят эту особенность для всего региона и для юга Европейской территории. На территории Сибири по HTC и по SPEI по хиндкастам тренд на увеличение засушливости, для Центаральной Азии по ГТК увеличение засушливости, по SPEI – отсутствие тренда. Средняя квадратическая ошибка ниже, а коэффициенты пространственной корреляции выше у хиндкастов SPEI.

Precipitation (mm/10 years)

Осадки	Северная Евразия	Юг ETP	Юг Сибири	Центральная Азия
ERA	-0,12	-0,07	0,33	-0,05
INM-CM	0,07	0,05	0,34	-0,05

Air temperature (mm/10 years)

T2m	Северная Евразия	Юг ETP	Юг Сибири	Центральная Азия
ERA	0,77	0,71	1,10	0,69
INM-CM	0,56	0,58	0,63	0,57

Продолжительность вегетационного периода

Тренды различных температурных характеристик по сельскохозяйственным районам России по ERA5 и по историческим прогнозам INM-CM5, 1980-2020

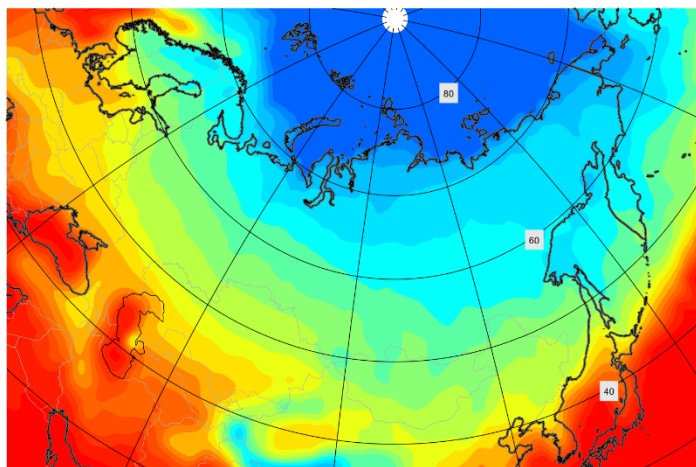
	Все с/х районы	с/х ЕТР	с/х Сибирь
Тренд весеннего перехода через 0°C (сут./10 лет)			
ERA	-3,20	-4,80	-2,23
INM-CM-5_hind	-3,00	-3,35	-1,88
Тренд весеннего перехода через 5°C (сут./10 лет)			
ERA	-2,15	-2,08	-2,35
INM-CM-5_hind	-2,82	-2,83	-2,80
Тренд весеннего перехода через 10°C (сут./10 лет)			
ERA	-1,20	-1,03	-1,70
INM-CM-5_hind	-3,00	-2,95	-3,08
Тренд продолжительности вегетационного периода (сут./10 лет)			
ERA	3,92	4,20	3,00
INM-CM-5_hind	3,04	3,12	2,52

In agricultural regions of the European Russian Federation and Siberia, earlier transitions through important biometeorological thresholds and an increase in the length of the growing season are observed.

Historical forecasts closely match the reanalysis in reproducing the trends for temperature transitions through 5°C and the length of the growing season. However, they overestimate the trend for average annual temperature in agricultural areas of Siberia, the transition through 10°C in Siberia and the European Russian, and slightly underestimate the trend for transitions through 5°C.

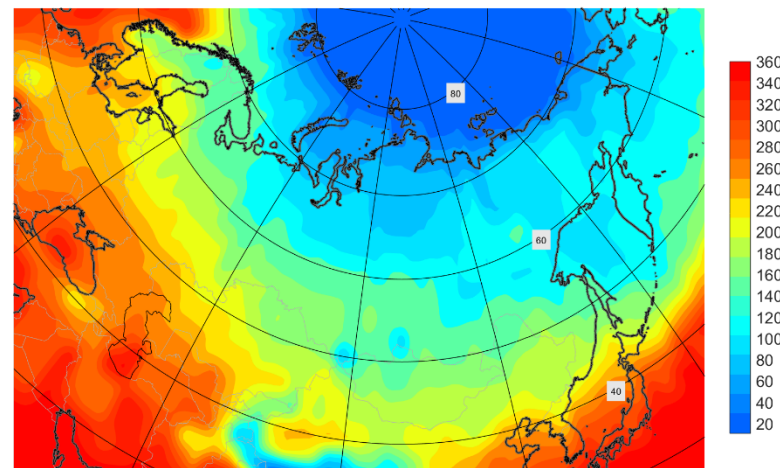
Продолжительность вегетационного периода 2025 (оперативный прогноз, инициализация ноябрь 2024)

ERA5



Продолжительность вегетационного периода. 2025 год. Прогноз INM-CM5.

INM-CM



Продолжительность вегетационного периода. 2025 год. ERA5.

Продолжительность вегетационного периода 2026-2030 (оперативный прогноз, инициализация ноябрь 2025)

	Центральный	Южный	Северо-Кавказский	Приволжский	Уральский (юг)	Сибирский (юг)	Дальневосточный (юг)
Аномалии продолжительности вегетационного периода (сут.)	6,9	6,3	5,6	6,8	7,9	7,2	7,5
Аномалии даты устойчивого весеннего перехода через 5°C (сут.)	5,3	5,1	4,9	5,8	5,6	5,2	5,4

Увеличение продолжительности вегетационного периода (~5-8 дней), более ранний переход через +5°C (~5 дней.)

Выводы

- Оценки ретроспективных прогнозов на пятилетнем интервале на базе модели Земной системы ИВМ РАН демонстрируют уровень, соответствующий мировому;
- оценки ретроспективных прогнозов засушливости по индексам ГТК и SPEI на территории Северной Евразии показывают высокую согласованность с расчетами по реанализу ERA5;
- представленные оценки будущих изменений температурно-влажностного режима указывают, что степень засушливости в основных сельскохозяйственных регионах в Северной Евразии ближайшее пятилетие будет повышаться;
- межгодовые прогнозы имеют важное стратегическое значение для сельского хозяйства и большой потенциал для последующего их использования.

Спасибо за внимание!

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда
проект РНФ № 22-17-00247П в ИВМ РАН

Показатель	ГТК (Гидротермический коэффициент Селянинова)	SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index)
Расчет	ГТК = $\sum P_{\sum T > 10^{\circ}\text{C}}$, где (P) — осадки, (T) — температура	Баланс осадков и потенциальной эвапотранспирации (PET), стандартизированный по вероятностному распределению.
Учитываемые факторы	Осадки и температура (>10°C).	Осадки, температура, влажность, ветер, солнечная радиация (через PET).
Временной масштаб	Месяц - сезон	Месяц – годы
Преимущества	Простота расчета и интерпретации. Хорошо адаптирован и изучен для умеренных широт (Северная Евразия). Используется для оценки метеорологических засух.	Учет эвапотранспирации делает его чувствительным к изменениям климата. Стандартизация позволяет сравнивать регионы с разным климатом. Подходит для анализа долгосрочных тенденций. Используется для оценки почвенных засух.
Недостатки	Не учитывает ветер, влажность и другие климатические параметры	Требуется больше входных данных