

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«СИБИРСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»
(ФГБУ «СибНИГМИ»)

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУ «СибНИГМИ»

А.Б. Колкер

« 09 » 01 2020 г



Методические Рекомендации
по использованию метода и технология краткосрочного
прогнозирования заморозков в воздухе и на почве по территории Урало-
Сибирского региона

по теме:

РАЗВИТЬ ТЕХНОЛОГИИ ДЕТАЛИЗИРОВАННОГО ЧИСЛЕННОГО
КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ,
ЭЛЕМЕНТОВ И ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ, ВКЛЮЧАЯ ОПАСНЫЕ,
ПО ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ

Тема 1.1.9.1 п.1

Ответственный исполнитель:

в.н.с. ФГБУ «СибНИГМИ»

К.г.н. М.Я. Здерева

Новосибирск 2020

СОДЕРЖАНИЕ

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	3
1 ОЦЕНКА ПЕРЕХОДА ТЕМПЕРАТУРЫ ЧЕРЕЗ НОЛЬ НЕПОСРЕДСТВЕННО ПО МОДЕЛЬНЫМ ПРОГНОЗАМ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	6
2 БАЗОВЫЕ ДАННЫЕ , МЕТОДИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ.....	8
3 СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗОВ НА НЕЗАВИСИМОЙ ВЫБОРКЕ	
3.1 Прогнозы заморозков в воздухе	10
3.2Прогнозы заморозков на почве.....	14
4 ПРОВЕДЕНИЕ ОПЕРАТИВНЫХ ИСПЫТАНИЙ.....	19
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	22

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Охлаждение приземного слоя воздуха или поверхности почвы до нуля и ниже актуально предупредить в вегетационном периоде. Как правило, процесс понижения температуры до отрицательных значений происходит в течение нескольких часов. Однако даже кратковременный заморозок способен погубить теплолюбивые культуры. Заморозки могут принести значительный ущерб как агропромышленному комплексу в целом, так и индивидуальным хозяйствам. Желание садоводов и огородников как можно раньше получить урожай сдвигает сроки посевов в период большого риска заморозков. Раннее предупреждение о наступлении заморозков позволит принять ряд защитных мер.

Заморозки могут возникать при разных синоптических процессах. В зависимости от условий образования их делят на радиационные, адвективные или радиационно-адвективные. Адвективные заморозки связаны с вторжением полярной или арктической воздушной массы на умеренные широты. Как правило, они более продолжительны по времени (до нескольких суток) и охватывают относительно большую территорию. К радиационным заморозкам приводит постепенное охлаждение почвы и приземного слоя воздуха после захода солнца, то есть по окончании притока тепла. Необходимое условие при этом: наличие инверсии и слабое перемешивание воздуха в пограничном слое атмосферы (слабый ветер или штиль), что препятствует поступлению теплого воздуха из более высоких слоев. Такая ситуация происходит в случаях с высоким приземным давлением, то есть в антициклонах. На продолжительность и интенсивность заморозков существенное значение оказывают влажность воздуха (влияет на инерцию охлаждения), состояние поверхности почвы и рельеф местности (стекание и застой холодного воздуха даже в небольших низинах).

Оперативные прогностические подразделения гидрометслужбы обязаны в периоды активной вегетации растений или уборки урожая давать прогноз заморозков [1].

Агроклиматическим анализом и изучением синоптических условий образования заморозков активно занимались в 40-70х годах двадцатого века [2,3].

Параллельно разрабатывались прогностические правила для данного явления. Первая автоматизированная статистическая модель прогноза заморозков в Сибири разработана в 1983 году (автор Н.К. Шарифуллин) [4]. Она включала несколько поэтапных блоков. В модели использовались алгоритмы минимизации ошибки скользящего контроля, регрессии для получения количественных значений ожидаемых температур, линейный дискриминант Фишера для получения линейных альтернативных

правил, метод последовательной минимизации числа ошибок для отбора лучших правил и кусочно-линейная модель разделения гиперплоскостей. Громоздкое число базовых параметров в условиях отсутствия автоматизированной электронной архивации ограничивало разработку решений по пунктам (только Новосибирск). А построение решений по исходным фактически наблюдаемым данным ограничивало заблаговременность (максимум одни сутки).

Первый метод прогноза заморозков для юго-востока Западной Сибири, базирующийся на выходных полях гидродинамической модели атмосферы ЕЦСПП, был разработан в 1994 году (автор И.Г.Храмцова). [5, 6]. Заблаговременность прогнозов увеличена до пяти суток, территория расширена до 90 пунктов. На базе трех выходных модельных параметров: давление на уровне моря (P0), геопотенциал на АТ-500 (H500) и температура воздуха на АТ-850 (T850) дополнительно рассчитывались горизонтальный градиент геопотенциала, лапласиан давления, средние значения H500, P0, T850 на заданной долготе, разность широт, на которых планетарная высотная фронтальная зона пересекает меридианы 50° и 80° и др. На фактическом материале в каждой точке определены средние значения всех предикторов в обеих группах x_k (k=1/2: заморозки/без). Решающее правило отнесения ожидаемой ситуации к той или иной группе построено на минимизации расстояния Махаланобиса:

$$\rho_k = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X}_k)^2}{\sigma_{X_k}^2}} \dots\dots\dots(1)$$

Окончательный прогноз формировался по административным областям Западно-Сибирского УГМС по трем составляющим: прогноз класса явления, прогноз минимальной температуры воздуха (Тмин) (по разработанной ранее методике) и прогноз температуры поверхности почвы (Тп) (по уравнениям линейной регрессии, связывающим Тп с Тмин).

Аналогичный подход был использован при разработке методов и технологии прогнозов заморозков по другим областям Урало-Сибирского региона [7-8].

На базе этой же модели ЕЦСПП был разработан объективный метод прогноза заморозков для юга Красноярского края (автор В.Г.Токарев) [9]. В методе определены пороговые показатели сходства значений каждого предиктора для класса заморозков (аналогично формуле (1)).

Все вышеперечисленные методики прогнозировали явление по административным областям, с указанием принятой в оперативной службе терминологии «местами» или на «большой части территории». Первая попытка разработать детализированный по конкретным пунктам прогноз заморозков была осуществлена в 2005 году для метеостанций Новосибирской области [10-11]. Схема также основана на интерпретации гидродинамических полей, но теперь уже добавлена модель из центра Экзетер с меньшим шагом ($2,5^0*2,5^0$ вместо 5^0*5^0) и дополнительным списком выходных параметров. В методе также учитывается прогноз минимальной температуры воздуха по усовершенствованной физико-статистической схеме (адаптация рабочей выборки с циклическим пополнением архивов, подбор аналогов для рабочей выборки, изменение списка предикторов согласно ожидаемым амплитудам изменений модельных температур и др.). Логические правила для альтернативных решений (с заморозками/без) построены по иерархическим ступеням с уменьшением рассматриваемого кластера. Сначала получается решение по области в целом, в случае положительного ответа продолжается расчет по секторам области и далее по станциям внутри секторов. Процесс направлен на повышение устойчивости полученных решений.

Развитие гидродинамической продукции дает новые возможности для ее физико-статистической интерпретации. Расширяется список выходных параметров, уменьшается шаг в выходных полях, повышается качество прогнозов.

Результатом данного исследования являются построенные методы и технология альтернативных прогнозов заморозков в воздухе и заморозков на почве на 1-3 суток по территории Урало-Сибирского региона.

К решению задачи подключена выходная продукция глобальной модели GFS (NCEP) с разрешением $0,5^0*0,5^0$ и мезомасштабной модели COSMO-Ru_Sib13 с разрешением 13,2км. Результаты первой скачиваются с ftp-сервера NCEP, второй – получаются в ЗапСибРВЦ в оперативном режиме. Новые вычислительные возможности позволяют разрабатывать метод и технологию сразу по всей территории Урало-Сибирского региона, с вариантами детализации результатов прогноза по 430 метеостанциям.

1 ОЦЕНКА ПЕРЕХОДА ТЕМПЕРАТУРЫ ЧЕРЕЗ НОЛЬ НЕПОСРЕДСТВЕННО ПО МОДЕЛЬНЫМ ПРОГНОЗАМ ТЕМПЕРАТУРЫ

На первом этапе было интересно посмотреть качество прогнозов перехода температуры через ноль по выходным модельным данным. Период оценки: апрель 2014 - октябрь 2017 года, исключая июль, всего порядка 840 случаев для каждой из 432 станции.

Модельные данные (GFS, COSMO): прогноз температуры воздуха на уровне 2м.

Прогностические данные для метеостанций взяты по значениям в ближайшем узле. От прогнозов температуры перешли к классам явления: наличие\отсутствие перехода температуры через ноль в ночные сроки для заблаговременностей до трех суток. Аналогично получен фактический класс по наблюдениям на станциях.

Расчитаны матрицы сопряженности прогноз-факт для каждой заблаговременности и оценки оправдываемости и предупрежденности прогнозов перехода через ноль. Представленный на рисунке 1 комплексный показатель успешности прогнозов на первую ночь - критерий Пирси-Обухова демонстрирует разделение рассматриваемой территории по качеству модельных прогнозов. Прогнозы переходов через ноль на западе и юге рассматриваемой территории несомненно успешнее по модели COSMO. На территории Иркутской области и Забайкалья оценки примерно равны, а в Якутии и по северу Красноярского края преимущество за моделью GFS. Особо заметная разница в пользу модели COSMO на территории Кемеровской, Новосибирской, Омской областей, Алтайского края.. Аналогичные результаты показали и оценки на последующие двое суток.

Предварительный анализ результатов модельных прогнозов позволили сделать выводы, что, во-первых, качество прогнозов перехода через ноль для заморозков можно улучшить, во-вторых, есть смысл использовать в качестве базовых обе модели.

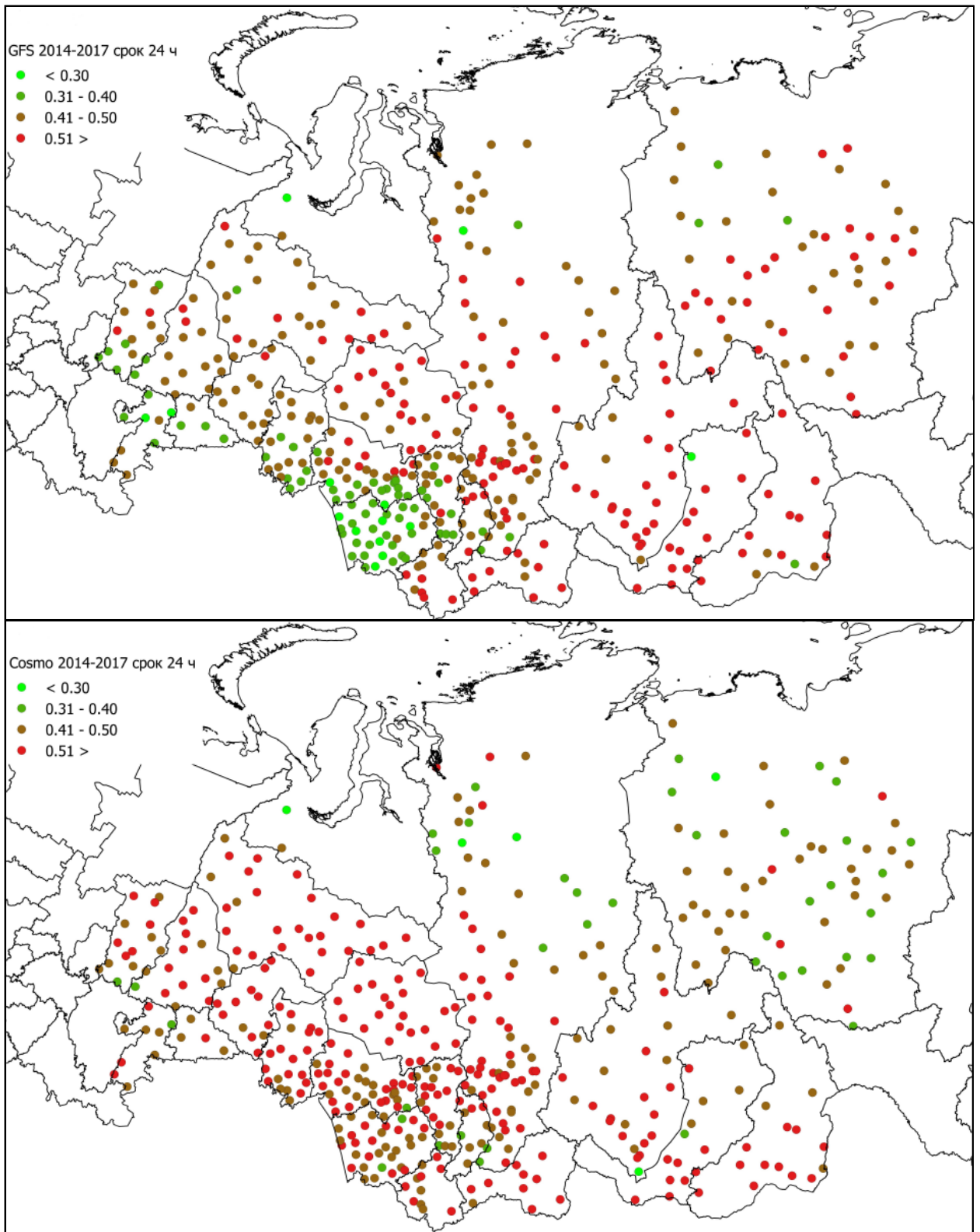


Рисунок 1 – Значения критерия Пирси-Обухова для прогноза перехода приземной температуры воздуха через ноль в теплом периоде по моделям GFS(вверху), COSMO(внизу). 2014-17гг. Заблаговременность 12-24

2 БАЗОВЫЕ ДАННЫЕ , МЕТОДИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Список базовых предикторов аналогичен набору в методе прогнозирования гололеда [12], поскольку оба явления связаны с переходом температуры через ноль. Для исследования использован материал теплых периодов 2014-2019 годов .

В качестве признаков выступают выходные параметры гидродинамических моделей COSMO и GFS с целью получения адаптивных решений для каждой заблаговременности прогнозов. В разработанной технологии используются расчеты COSMO в ЗС РВЦ с разрешением 13.2 км. Выходные поля глобальной модели GFS(NCEP) с разрешением 0.5*0.5 градусов скачиваются по ftp. Архивные выборки строятся для каждой метеостанции на каждый срок заблаговременности. Значения параметров выбираются в ближайшем к искомой метеостанции узле сетки. Набор признаков определяется физической или потенциально возможной связью с заданным предиктантом (явлением погоды). Всего вместе с расчетными и непосредственно модельными отобрано 39 потенциальных предикторов [12,13],.

Факт перехода температуры от плюса к минусу определен по наблюдаемому суточному ходу температуры из КН01 с апреля по октябрь с 2014-2019гг. Вегетативный период в среднем на рассматриваемой территории длится с мая по сентябрь, хотя в последние годы он постепенно удлиняется. Случаи понижения температуры до нуля и ниже в ночные сроки после положительных температур днем отнесены к первому классу, остальные ко второму. Если переход через ноль отмечен по температуре воздуха на уровне 2 метров, то это определение для заморозков в воздухе; если рассматривается температура поверхности почвы – то для заморозков на почве.

Итак, для исследования создан архив альтернативных заморозков в воздухе и на почве за теплый период 2014-2019 годов по метеостанциям Урало-Сибирского региона. В архиве 432-метеостанции для заморозков в воздухе и 369 – на почве (не везде измеряется температура поверхности почвы). Архивная выборка поделена на три части. Первая (2014-2017гг.) используется для получения набора оптимальных решений, вторая (2018г)– для выбора единственного лучшего решения по независимым данным и 2019-для оценок на независимом материале.

В основе методических решений лежит алгоритм DW [14] построения логических бинарных деревьев для каждого пункта и на каждый срок прогноза. При этом базовый алгоритм существенно доработан включением механизма изменения глубины деревьев и начального списка предикторов для получения набора потенциальных решений, и

нахождения «лучшего» по независимой части выборки [12,13], Окончательные деревья построены отдельно для заморозков в воздухе и на почве для каждой станции, заблаговременности (1-3 ночь), по каждой модели (GFS, COSMO) от 00 и 12 модельных сроков.

Полученные DW-решения для всех явлений и программы восстановления по ним встроены в оперативную технологию производства краткосрочных прогнозов в ФГБУ «ЗС РВЦ» и в ФГБУ «СибНИГМИ».

Технология включает следующие блоки:

1. Производство расчетов по COSMO_RU_Sib13. Форматирование выходных данных, выбор базовых параметров в ближайших узлах по списку станций региона, расчет дополнительных параметров.
2. Скачивание выходной продукции модели GFS(NCEP). Форматирование выходных данных, выбор базовых параметров в ближайших узлах по списку станций региона, расчет дополнительных параметров.
3. Прогноз явлений по станциям на 1-3 суток.
4. Формирование результатов в таблицы и передача их пользователям через интернет-ресурсы.
5. Архивирование фактических метеорологических параметров из SQL-базы КН-01.
6. Архивирование результатов расчетов прогнозов явлений.
7. Автоматизированный расчет оценок прогнозов по разработанному методу.

Для каждого блока подготовлено программное обеспечение с целью работы в оперативном режиме.

3 СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗОВ НА НЕЗАВИСИМОЙ ВЫБОРКЕ

3.1 Прогнозы заморозков в воздухе

Фактические и модельные данные весенне-осеннего сезона апрель-сентябрь 2019 годов (около 305 случаев) использованы в качестве независимой выборки для сравнительных оценок по разным вариантам и подходам.

Доказательством того, что усилия на разработку метода были не напрасны служат сравнительные оценки с прогнозом перехода температуры через ноль непосредственно по моделям. Пример распределения по территории критерия Пирси-Обухова в двух вариантах представлен на Рис.2.

Сравнительные оценки на независимом периоде методических прогнозов на базе разных моделей, показывают в среднем по территории преимущество DW-решений на базе COSMO. Из таблицы 5 видно, что в среднем за весь период предупреденность явления по модели COSMO на 5-7% выше, при этом ложных тревог больше лишь на 3-4%, что сказывается на более высоких оценках критерия Пирси-Обухова. Однако распределение оценок по территории, приведенное на рисунках 3-4, показывает, что на большинстве станций уровень успешности сопоставимый, а если и есть разница, то она в пользу решений на базе COSMO. Этот вывод сохраняется на все сроки. Поэтому окончательное решение для каждой станции выбрано как лучшее по оценкам между двумя моделями.

Таблица 1 - Средние по территории оценки прогнозов заморозков в воздухе по разработанному методу. Теплый период 2019гг

00+h	k11	k12	k21	k22	k00	vr1	vr2	vr	pr1	pr2	TSS	PRV
Базовая модель COSMO												
18	1293 0	9257	150 5	10546 8	12916 0	58	99	92	90	92	0.81 5	0.677
42	1256 6	9656	164 6	10529 3	12916 1	57	98	91	88	92	0.80 0	0.661
66	1222 7	1071 9	182 0	10439 5	12916 1	53	98	90	87	91	0.77 7	0.634
Базовая модель GFS												
18	1205 7	7253	245 4	11042 0	13218 4	62	98	93	83	94	0.76 9	0.686
42	1185 8	7757	244 2	11012 8	13218 5	60	98	92	83	93	0.76 3	0.672
66	1149 7	8690	263 3	10893 3	13175 3	57	98	91	81	93	0.74 0	0.643

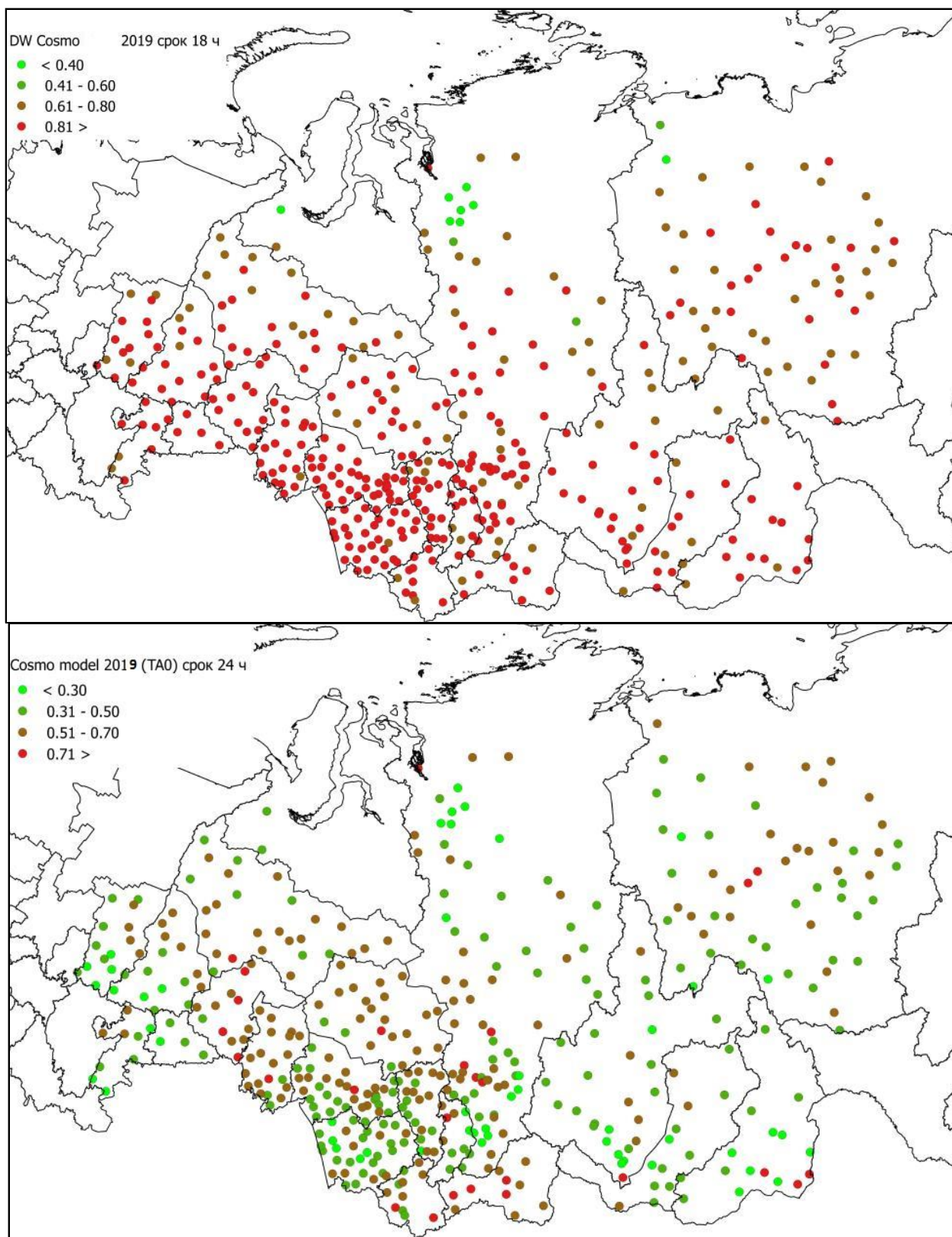


Рисунок 2- Критерий Пирси-Обухова для альтернативных прогнозов заморозков по DW-решениям (вверху) и по модельной температуре без интерпретации (внизу) на первые сутки. Май-сентябрь 2019г.

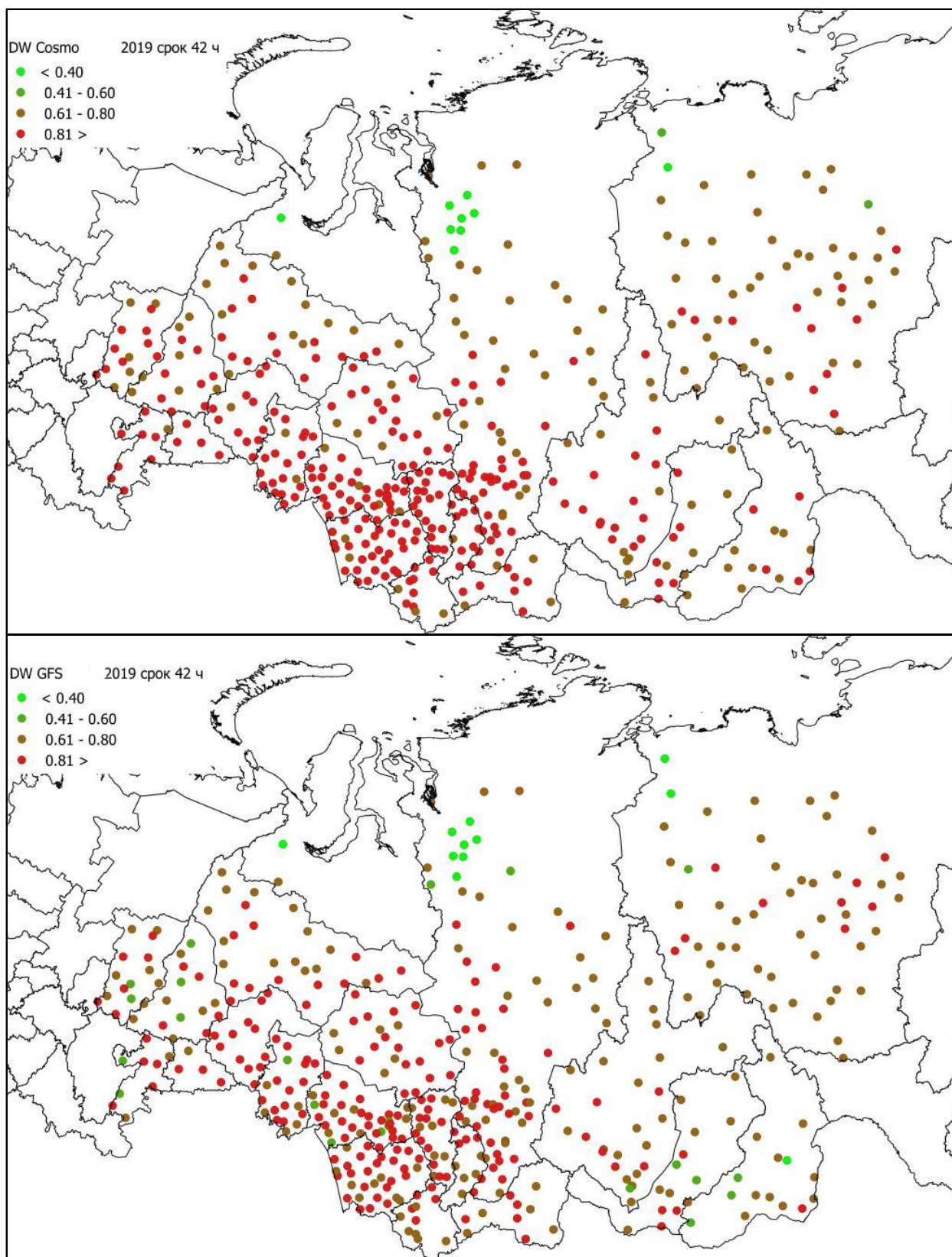


Рисунок 3- Значение критерия Пирси-Обухова прогнозов заморозков в воздухе по бинарным деревьям, построенным на базе модели COSMO(вверху) и GFS (внизу) на вторые сутки. Май-сентябрь 2019г.

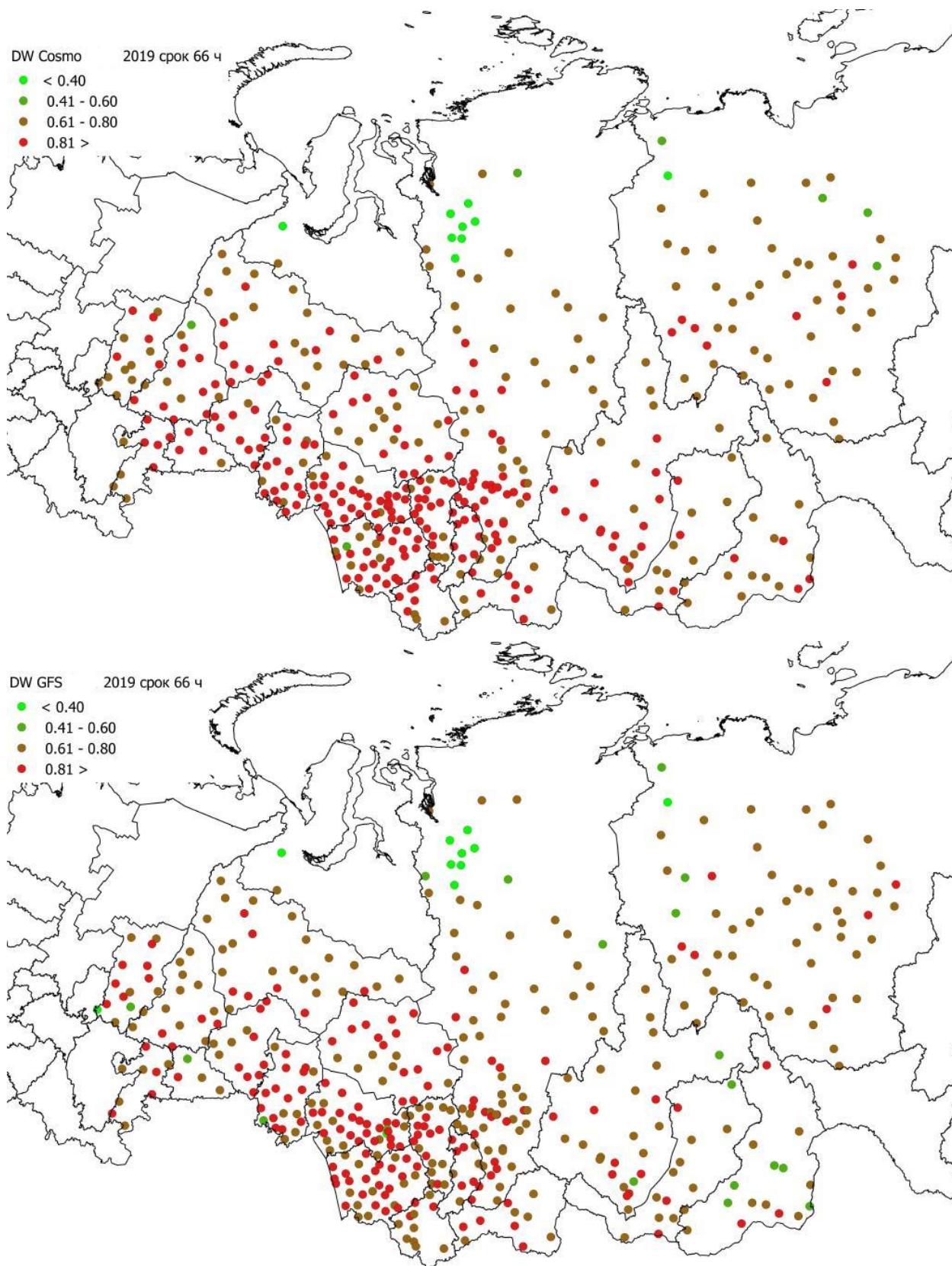


Рисунок 4- Значение критерия Пирси-Обухова прогнозов заморозков в воздухе по бинарным деревьям, построенным на базе модели COSMO(вверху) и GFS (внизу) на третьи сутки. Май-сентябрь 2019г.

3.2 Прогнозы заморозков на почве

Аналогично решениям для заморозков в воздухе выбран лучший вариант деревьев для каждой станции на каждый срок заблаговременности по каждой модели с подключением подвыборки 2018 года.

Результаты проведения расчетов на независимой выборке 2019 года показали следующее:

- в отличие от заморозков в воздухе общий уровень качества прогнозов более низкий за счет увеличения числа «ложных тревог»: примерно в два раза снижается оправдываемость прогнозов наличия заморозков. При этом средняя предупрежденность уменьшается лишь на 3-5% (таблица 2);

- практически все средние показатели уровня успешности не имеют разницы между решениями по моделям COSMO и GFS;

- есть различия в распределении ошибок по территории (рисунки 5 - 7)

Таблица 2 - Средние по территории оценки прогнозов заморозков на почве по разработанному методу. Теплый период 2019гг.

00+h	k11	k12	k21	k22	k00	vr1	vr2	vr	pr1	pr2	TSS	PRV
COSMO												
18	3224	9273	471	93102	106070	26	99	91	87	91	0.782	0.442
42	3069	9153	566	93278	106066	25	99	91	84	91	0.755	0.429
66	2996	10024	568	92475	106063	23	99	90	84	90	0.743	0.413
GFS												
18	3096	8744	628	96437	108905	26	99	91	83	92	0.748	0.432
42	2989	8500	678	96738	108905	26	99	92	82	92	0.734	0.427
66	2922	9349	676	95592	108539	24	99	91	81	91	0.723	0.410

Видно, что успешность прогнозов заметно снижается в районах с гористой местностью, на востоке (Забайкалье, Бурятия, Иркутская область, Республика Саха) и на севере Красноярского края. На западе территории, прилегающей к Уралу прогнозы на базе GFS в среднем точнее, но только на первые сутки, в последующие разница нивелируется.

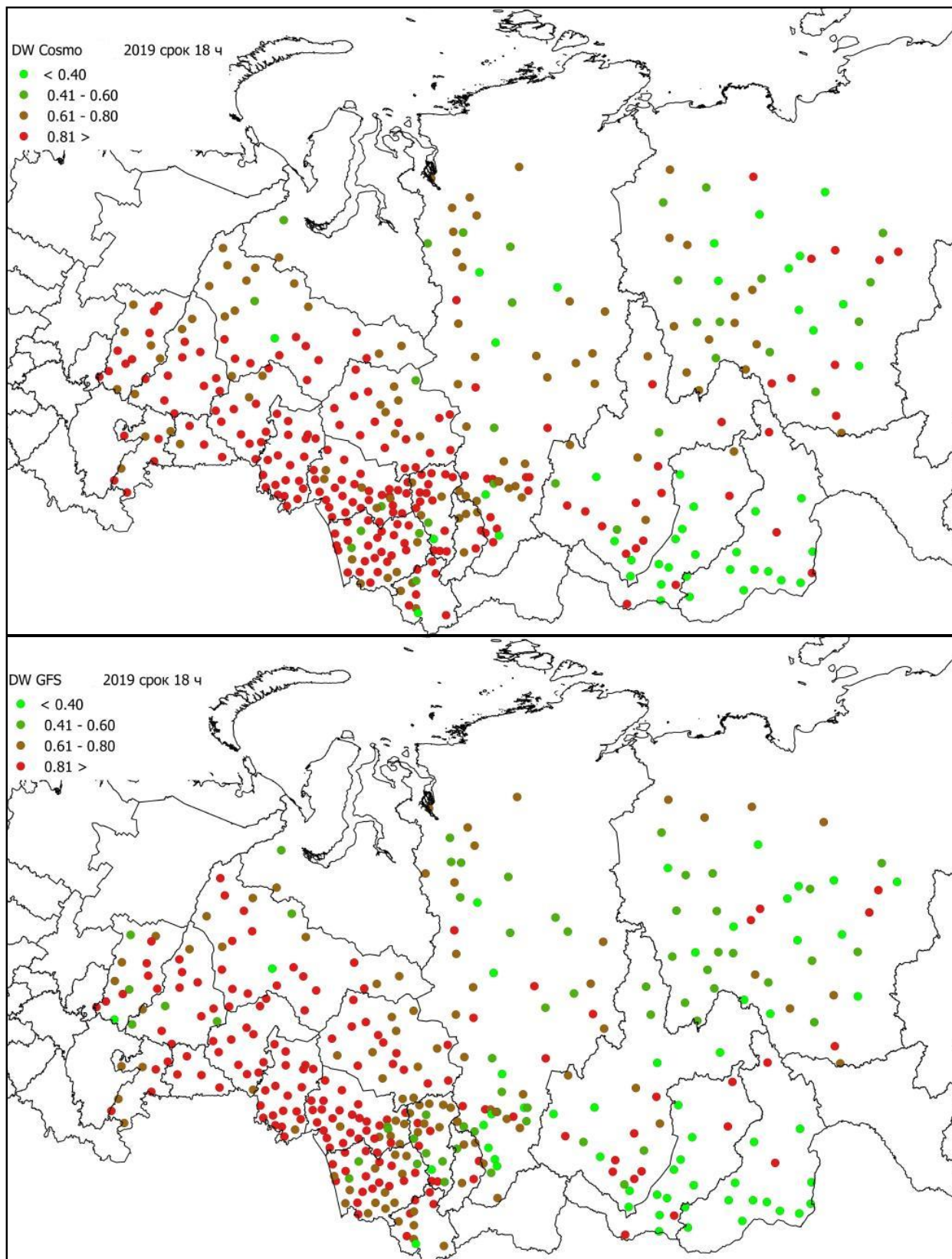


Рисунок 5 - Значение критерия Пирси-Обухова прогнозов заморозков на почве по бинарным деревьям, построенным на базе модели COSMO(вверху) и GFS (внизу) на первые сутки. Май-сентябрь 2019г

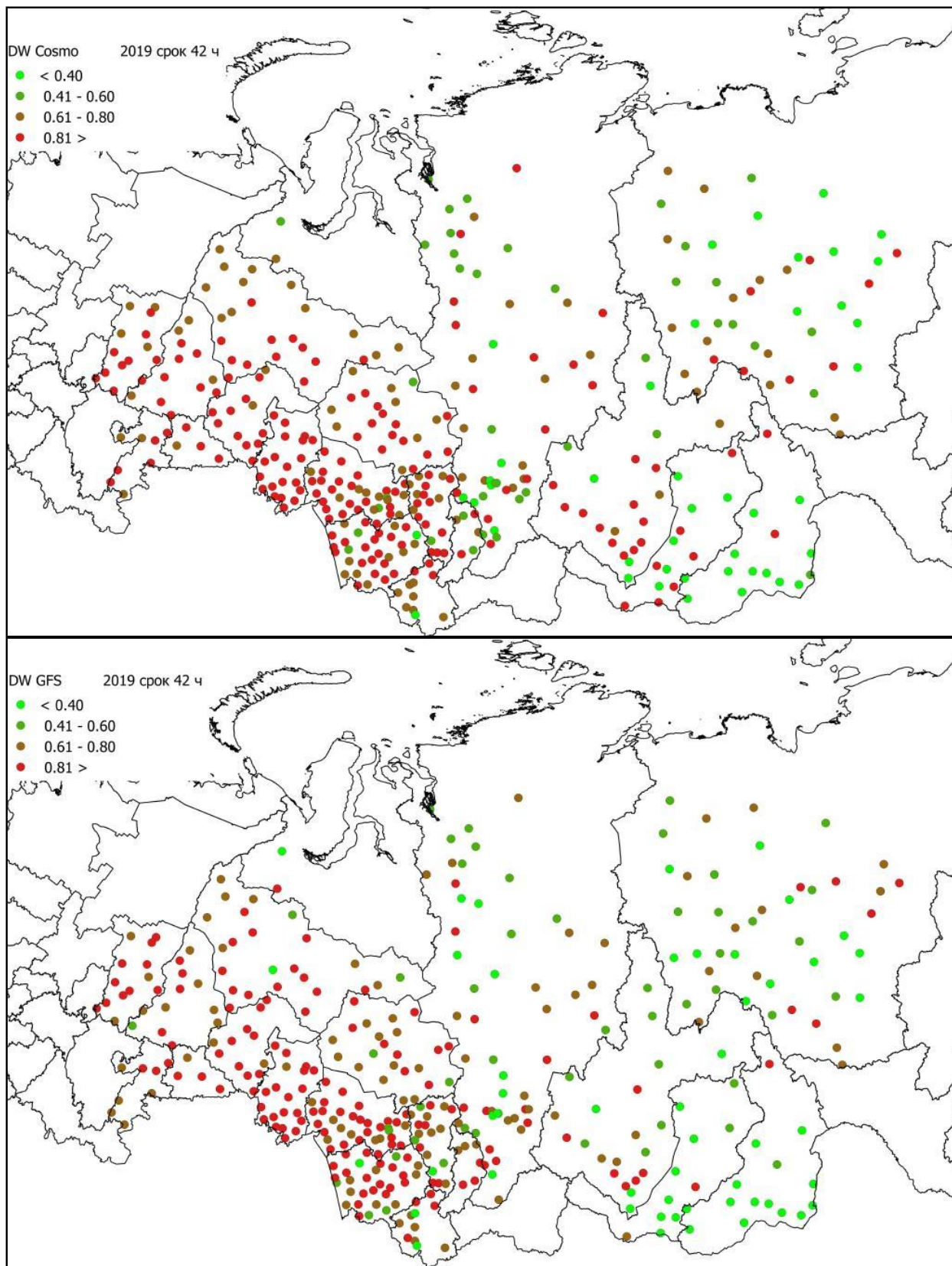


Рисунок 6 - Значение критерия Пирси-Обухова прогнозов заморозков на почве по бинарным деревьям, построенным на базе модели COSMO(вверху) и GFS (внизу) на вторые сутки. Май-сентябрь 2019г

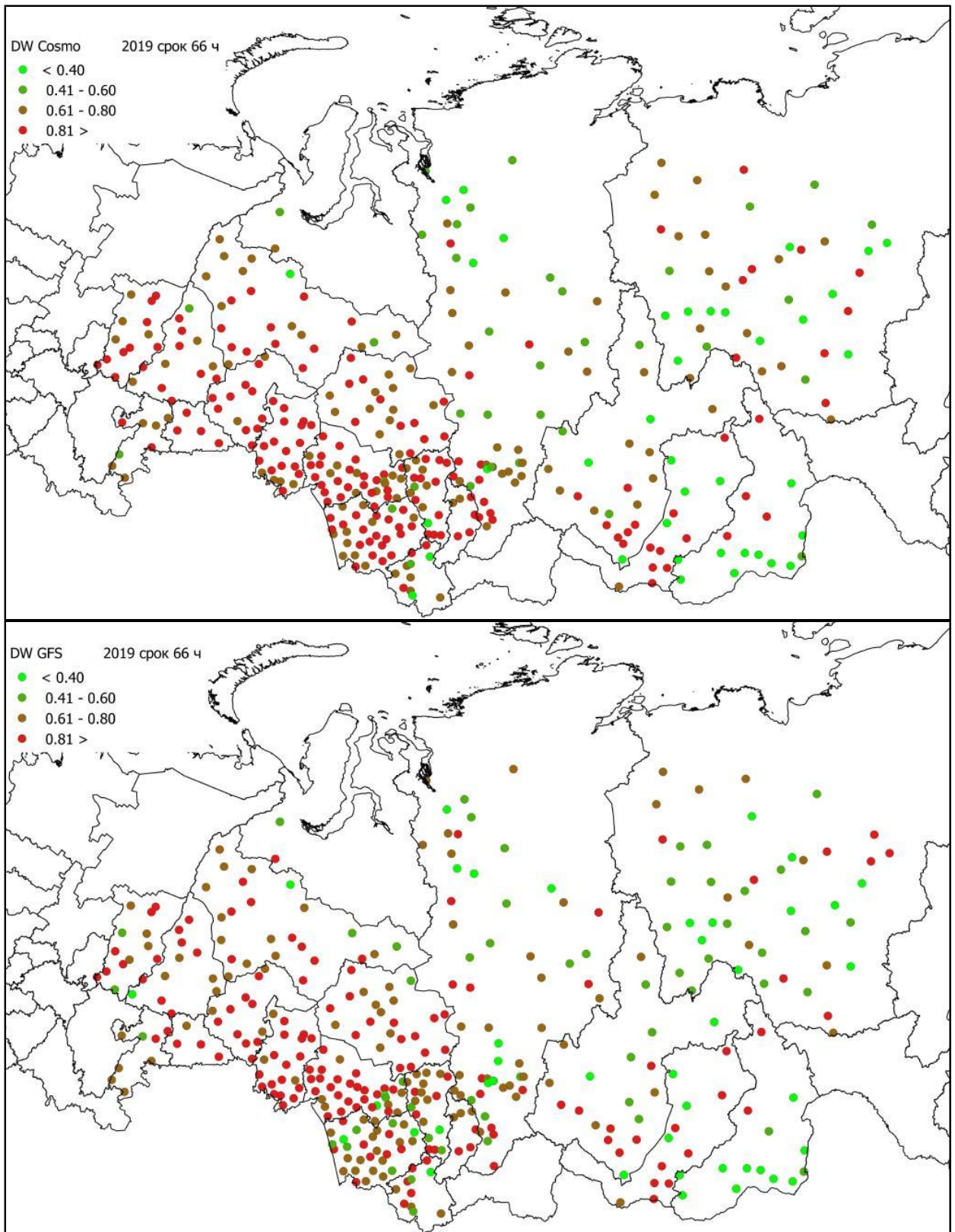


Рисунок 7- Значение критерия Пирси-Обухова прогнозов заморозков на почве по бинарным деревьям, построенным на базе модели COSMO(вверху) и GFS (внизу) на третьи сутки. Май-сентябрь 2019г

Основные выводы из раздела:

- 1) Применение разработанного метода распознавания переходов температуры через ноль на базе модифицированного алгоритма DW значительно увеличивает результативность прогнозов. Для модели GFS на независимой выборке средний по территории критерий Пирси-Обухова возрастает в два раза по сравнению с оценками по модельным параметрам.
- 2) Прогнозы заморозков в воздухе по DW-решениям на базе модели COSMO в среднем более успешны, чем по модели GFS. Для прогнозов заморозков на почве качество снижается по обеим моделям и выравнивается.
- 3) По разработанным решениям прогнозы заморозков в воздухе на независимой выборке май-сентябрь 209 г. показали среднюю предупрежденность явления около 90% при вероятности около 55%, средний критерий Пирси-Обухова около 0,8. Для прогнозов заморозков на почве в том же периоде вероятность ниже примерно в два раза – около 25%, а предупрежденность снизилась примерно на 5% -85-88%.
- 4) По срокам заблаговременности качество прогнозов меняется незначительно.

4 ПРОВЕДЕНИЕ ОПЕРАТИВНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Для каждого управления гидрометслужбы региона согласован список метеостанций, для которых наличие архивных данных позволило получить решения для прогнозов заморозков в воздухе и на почве. Список прилагается к Программам испытаний.

Старт прогнозов начинается в апреле до середины октября по модельным данным от 00 и от 12 ВСВ на 12-72 часа вперед, Даты вегетативного периода по территории различаются, поэтому каждое управление Гидрометслужбы определяет сроки использования прогнозов самостоятельно. Ежедневно в 04:10-04:30 и в 16:10-16:30 результаты в виде таблиц выкладываются на рабочий сервер <ftp://nsk.meteorf.ru/incoming/ZAMOROZ/> в соответствующую папку: 00 или 12. Расчеты архивируются в папке OLD. Параллельно расчеты производятся в технологической цепочке СибНИГМИ и выкладываются на сайт sibnigmi.ru в раздел «Продукция»\Таблицы(комплексирование) (Рис. 8).

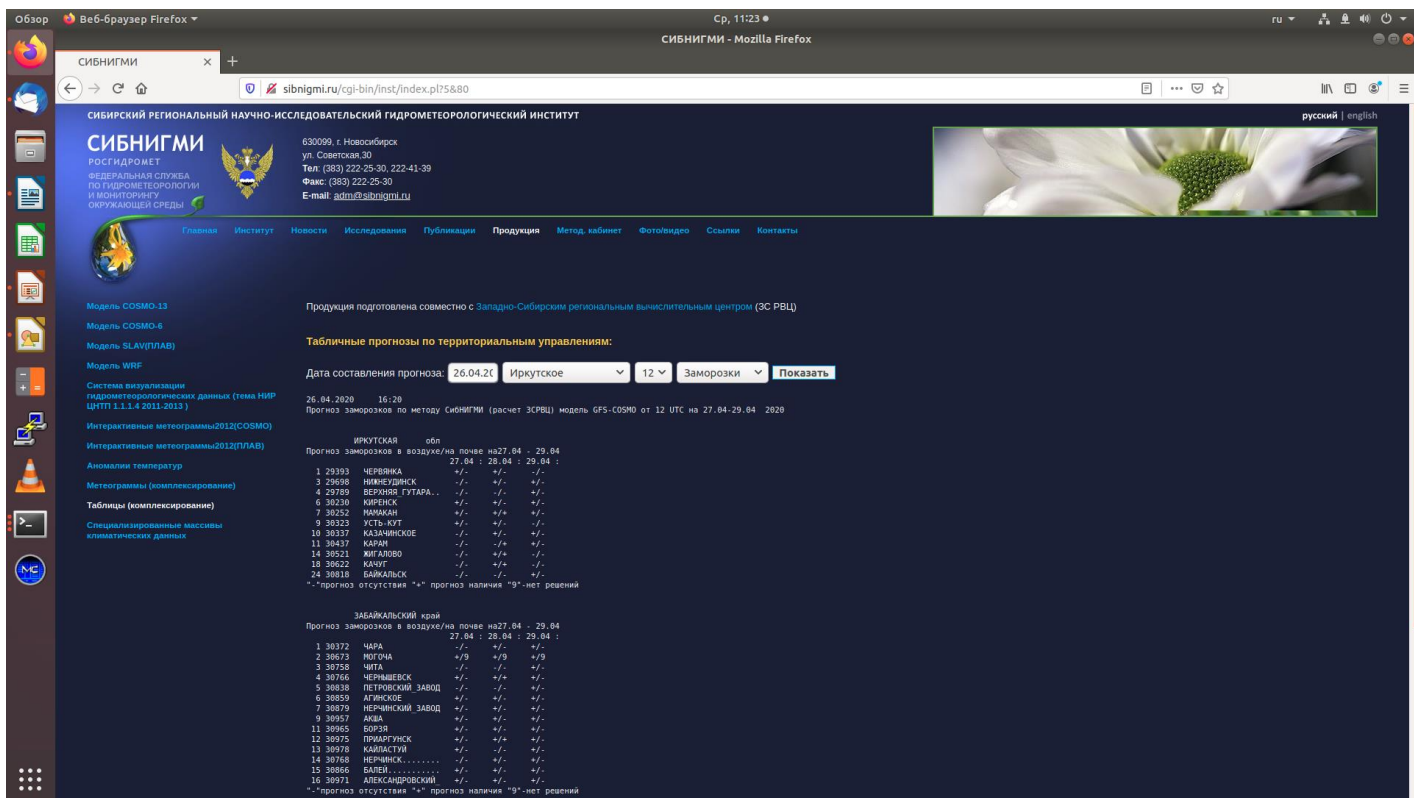


Рис. 8- Размещение таблиц с прогнозами на сайте СибНИГМИ

Таблицы сформированы одновременно для заморозков в воздухе/ на почве через дробь.. Ожидаемое наличие явление кодируется символом «+», отсутствие -»» в соответствующем сроке заблаговременности. Прогнозы рассчитываются по каждой метеостанции, но в таблицы для удобства выдаются только те, на которых в какой-либо срок ожидается явление. Для остальных пунктов прогноз рассматривается как отсутствие явления на все заблаговременности.

Если по всей территории области/края на все сроки заблаговременности заморозки не ожидаются, то формируется сообщение: «**В период с....по.... заморозки не ожидаются**», что следует расценивать, как прогноз отсутствия явления по всей указанной территории. В случае отсутствия базовых модельных данных либо полученных решений код будет= «0»..

Если в течение месяца по прогнозам не будет угрозы заморозков и по наблюдениям не будет отмечен переход через ноль по всей территории ответственности того или иного управления гидрометслужбы, оценки не будут учитываться с целью фиктивного увеличения выборки с отсутствием явления.

По окончании календарного месяца будет производиться автоматизированный расчет матрицы сопряженности (Таблица 3) и базовых оценок (1-8) согласно Методическим указаниям [15] по каждой области/краю/округу. При этом за факт наличия явления будет приниматься понижение температуры воздуха/почвы до нуля и ниже после положительных значений в дневные сроки наблюдений.

Таблица 3– Таблица сопряженности прогноз-факт

Прогноз	Факт		
	Да	Нет	
Да	k11	k12	k10
Нет	k21	k22	k20
	k01	k02	k00

Оценки успешности для альтернативных прогнозов согласно таблице 1:

$$pr1=k11/k01 - \text{предупрежденность наличия явления} \quad (1)$$

$$pr2=k22/k02 - \text{предупрежденность отсутствия явления} \quad (2)$$

$$vr1=k11/k10 - \text{оправдываемость прогнозов наличия явления} \quad (3)$$

$$vr2=k22/k20 - \text{оправдываемость прогнозов отсутствия явления} \quad (4)$$

$$vr=(k11+ k22)/k00 - \text{общая оправдываемость прогнозов} \quad (5)$$

$$LT=k12/k10 - \text{доля ложных предупреждений (тревог)} \quad (6)$$

$$TSS=k11/k01-k12/k02 - \text{критерий Пирси-Обухова} \quad (7)$$

$$PRV=0,5(pr1+vr1)-0,2(pr1-vr1), \text{ если } pr1 \geq vr1$$

$$PRV=0,5(pr1+vr1)-0,4(vr1-pr1), \text{ если } pr1 < vr1 - \text{критерий баланса} \quad (8)$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. РД 52.27.724-2019. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. //М., ФГБУ «Гидрометцентр России».- 2019.-66с.
2. Шевчук И.А. Синоптические условия осенних заморозков в юго-восточных районах Западной Сибири //Сб. работ по региональной синоптике.- 1964. - №9.- С.87-97
3. Храмцова И.Г. Климатическая характеристика заморозков (в том числе особо опасных) на юго-востоке Западной Сибири//Труды ЗСРНИГМИ – 977–Вып. 27 – С.49-55
4. Шарифуллин Н.К. Модель прогноза заморозков//Труды ЗапСибНИИ Госкомгидромета СССР.- 1988.- Вып.83. – С.90-98.
5. Прогноз заморозков в воздухе и на поверхности почвы на 1-5 суток, детализированный по суткам для юго-востока Западной Сибири: Отчет о НИР (промежуточ.)/ СибНИГМИ Росгидромета; Руководитель И.Г.Храмцова.- Шифр темы 9.2.23; №ГР 01940001672; Инв. № 03950000278. – Новосибирск, 1994.-48с.
6. Храмцова И.Г., Шустова Г.А. Автоматизированный метод прогноза заморозков на 1-5 суток для юго-востока Западной Сибири // Труды СибНИГМИ.-2000.-Вып.102.-С.34-40.
7. Прогноз заморозков, детализированной для Омской и Тюменской областей: отчет по НИР (промежуточный)// СибНИГМИ Росгидромета: руководитель Храмцова И.Г. – тема 1.19.1.1; №ГР 0196009726; Новосибирск,1997.-38с.
8. Прогноз заморозков на 1-5 суток, детализированный по суткам для Свердловской, Пермской, Челябинской и Курганской областей: отчет по НИР (промежуточный) //СибНИГМИ Росгидромета; руководитель Храмцова И.Г. . – тема 1.19.1.1; №ГР 0196009726; Новосибирск, 1998.-41с.
9. Токарев В.Г. Метод прогноза заморозков по дням пентады для юга Красноярского края.//Труды СибНИГМИ. -2000.-Вып.103.-С.115-120
10. Разработка метода и технологии расчета прогноза погоды по полусуткам пентады для административных районов Новосибирской области / Отчет по НИР// СибНИГМИ Росгидромета: руководитель Здерева М.Я. – тема 1.1.2.9(р); Новосибирск, 2005.-76с.
11. Здерева М.Я., Торубарова Г.П., Шустова Г.А. Физико-статистическая схема прогноза экстремальной температуры воздуха по пунктам Новосибирской области на 1-5 суток. // Труды СибНИГМИ. - 2006. – Вып.105. – С.40-46.
12. Методические рекомендации по использованию метода и технологии краткосрочного прогнозирования гололеда на территории Урало-Сибирского региона// <http://sibnigmi.ru/metod/3/> ... доступен 26.04.2020

13.Метод и технология краткосрочного прогнозирования переходов температуры через ноль и связанных с ними гололедных явлений и заморозков на территории Урало-Сибирского региона// Отчет НИР (заключительный) СибНИГМИ Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; руководитель Здерева М.Я
РАЗВИТЬ ТЕХНОЛОГИИ ДЕТАЛИЗИРОВАННОГО ЧИСЛЕННОГО КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, ЭЛЕМЕНТОВ И ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ, ВКЛЮЧАЯ ОПАСНЫЕ, ПО ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ СибНИГМИ Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; руководитель Здерева М.Я.- тема 1.1.91.п.1;Рег. № НИОКТР АААА-А17-117022250099-8; Новосибирск, 2019.-56с. / размещен <http://sibnigmi.ru/metod/3/> ... доступен 26.04.2020

14.Лбов Г.С., Манохин А.Н. Распознавание образов при разнотипных признаках в условиях малой выборки. // Статистические проблемы управления. - Вильнюс, 1976.-Вып.14.-С.57-63.

15. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов: РД 52.27.284 -91:Л.: Гидрометеоздат, 1991. - 149с.