

# **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛЬНЫХ ПРОГНОЗОВ ОСАДКОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ НА ГОРНЫХ РЕКАХ АЛТАЯ**

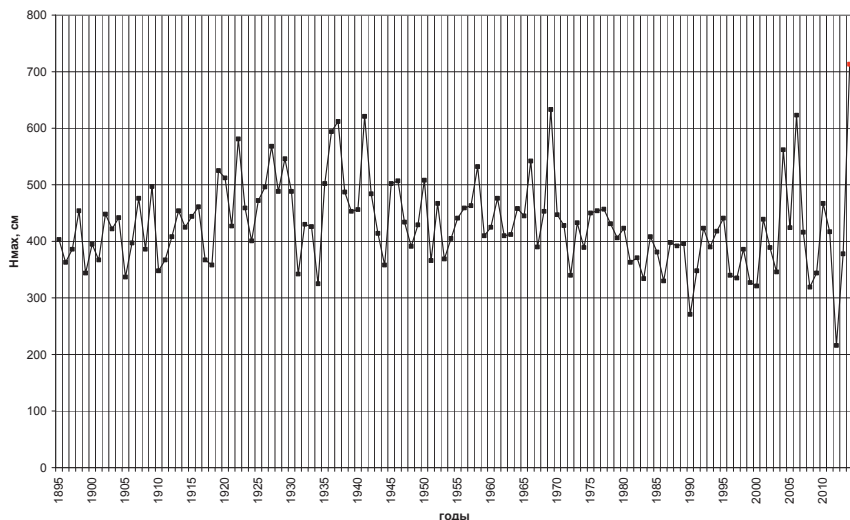
*М.Я. Здерева, В.Ф. Богданова, Н.А. Хлучина*

*Сибирский региональный научно-исследовательский  
гидрометеорологический институт, г. Новосибирск  
zdereva@sibnigmi.ru, ogp@meteo-nso.ru, natasha@sibnigmi.ru*

## **Общая информация о дождевом паводке в 2014 году на территории Алтая**

В конце мая 2014 года юг Западной Сибири стал зоной бедствия. Волновые циклоны, активно перемещающиеся вдоль периферии антициклона с запада на восток, стали причиной сильных дождей. В Республике Алтай и Алтайском крае практически ежедневно в третьей декаде мая выпадали дожди различной интенсивности, наиболее интенсивные отмечались с 25 по 30 мая (от 17 до 62 мм в сутки). Всего за третью декаду выпало от 51 до 88 мм, местами до 184 мм осадков, что составило от 3 до 4 и более декадных норм. Такое большое количество осадков в третьей декаде мая на семи метеостанциях Республики Алтай и трех Алтайского края наблюдалось впервые за весь ряд наблюдений, предыдущий рекорд декадной суммы осадков был перекрыт в 1,5–2 раза. На трех метеостанциях Республики Алтай была превышена максимальная за период наблюдений месячная сумма осадков, на четырех – близка к ней. Таким образом, уникальность данного события заключалась в выпадении интенсивных осадков в течение короткого периода времени, когда за 5–7 дней выпавшие осадки перекрыли месячную норму в 1,5–2,5 раза.

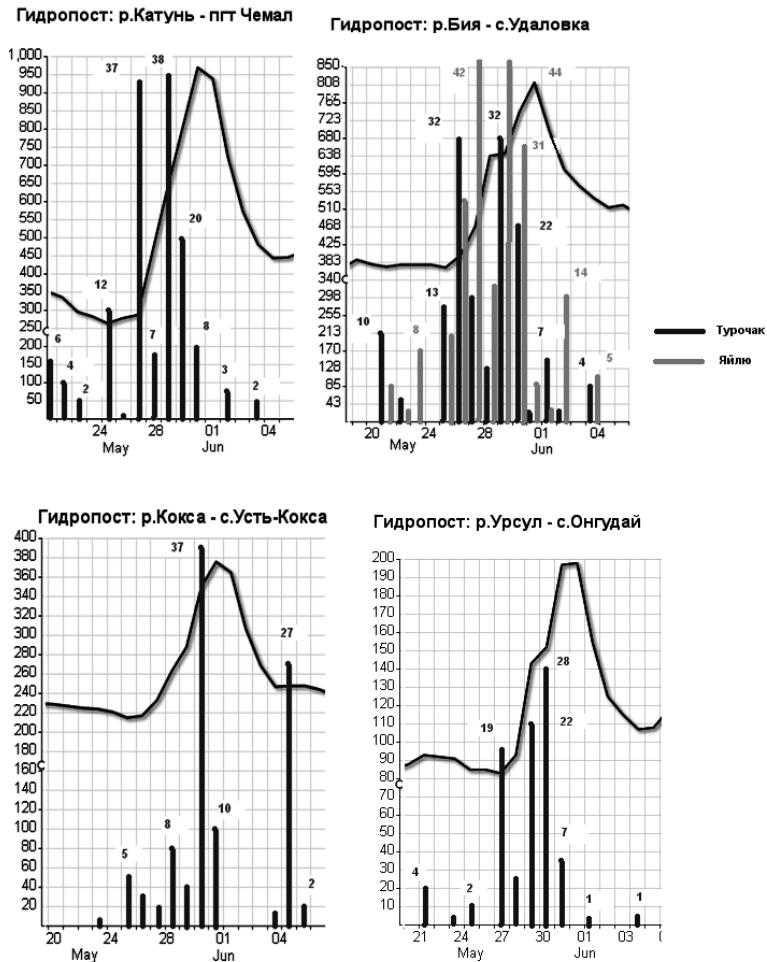
Обильные дожди пришлись на период формирования уровней рек в результате весеннего снеготаяния в горах. Как известно [7], подобные процессы приводят к резкому повышению уровней воды, что и произошло весной 2014 г. на Алтае. Гидрографическая сеть республики насчитывает более 20 тысяч водотоков с протяженностью более 60 тыс. км. Малые реки горной территории Алтай составляют бассейны Катуня, Бии, Чарыша, которые, в свою очередь, формируют бассейн реки Обь. Уровни воды в период паводка на Верхней Оби были выше нормы на 0,83–2,66 м, Бии – 2,62–3,23 м, Катуня – 1,19–3,84 м, Чарыше – 0,72–1,54 м, на малых реках Республики Алтай и Алтайского края – на 0,50–1,19 м. На рис. 1 показано, что в районе г. Бийска уровень воды в Бии достиг максимума за период с 1895 года.



**Рис. 1. Максимальные по годам уровни воды реки Бия в районе г. Бийска.**

Максимальные уровни отмечались в период 28 мая – 1 июня 2014 года. В зоне затопления оказались десятки населенных пунктов. В Республике Алтай разрушено около 230 км дорог, 15 мостов, осложнился доступ к 29 населенным пунктам.

Приведенные на рис. 2 графики изменения уровней воды в отдельных реках по измерениям на гидропостах на фоне выпавших осадков по данным ближайших метеостанций ярко иллюстрируют основную причину наводнений.



**Рис. 2. Уровни воды (см) на гидропостах и осадки (мм/24ч), измеренные на ближайших метеостанциях. Конец мая – начало июня 2014 г.**

## Анализ прогнозов модельных осадков

На территории Республики Алтай находится 11 метеорологических станций наблюдения и 6 гидропостов на реках, относящихся к бассейну Катунь, 5 гидропостов – к бассейну Бии (рис. 3).

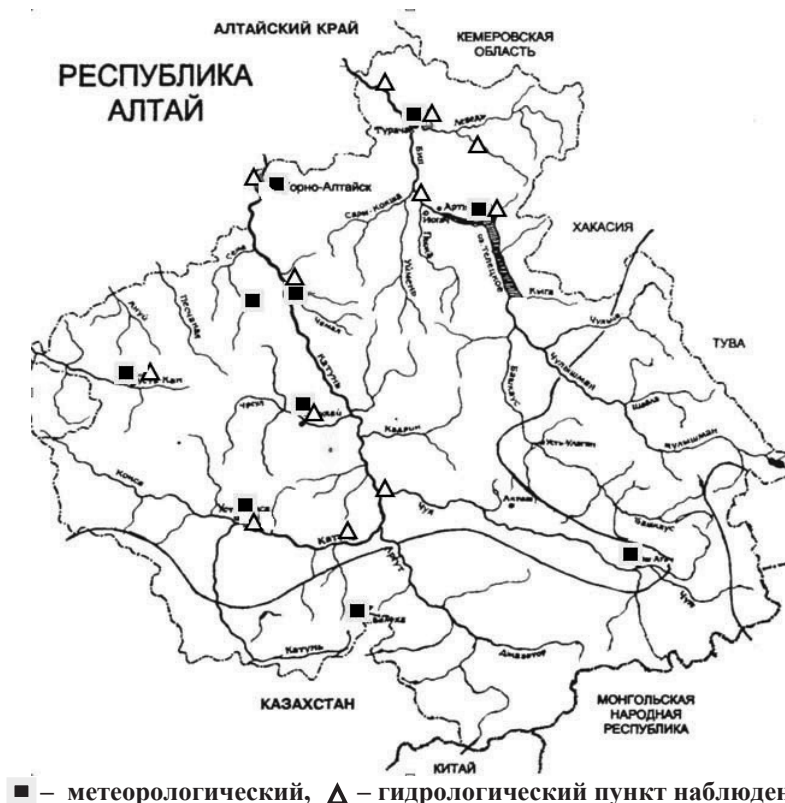


Рис. 3. Расположение метеорологических и гидрологических пунктов наблюдений на территории Республики Алтай.

В условиях редкой сети наблюдений в горных районах сложно получить реальное пространственное распределение фактических осадков для того, чтобы учесть их в расчетах ожидаемых стоков рек в гидрологических схемах. Соответственно, разработка

удовлетворительного прогноза осадков статистическими процедурами также затруднена. Возникает вопрос: можно ли доверять прогнозам осадков по гидродинамическим моделям в сложных орографических районах?

Для анализа взяты результаты мезомодели COSMO-Ru\_Sib14 [5, 6] и модели ПЛАВ [10, 11]. Расчеты по этим моделям производятся в Региональном вычислительном центре Западно-Сибирское УГМС в оперативном режиме два раза в сутки – от 00 и 12 ч ВСВ. Пространственное разрешение выходной продукции модели COSMO-Ru –  $14 \times 14$  км, модели ПЛАВ – примерно  $60 \times 30$  км. Значения прогностических осадков просуммированы за полусутки и приведены к станциям наблюдений по ближайшему узлу сетки.

В табл. 1, 2 приведены примеры фактических и прогностических осадков (суммы за 12 ч) по метеостанциям Республики Алтай. Как видно из табл. 1, условия для интенсивных осадков по гидродинамическим схемам были получены уже на 25 мая, однако наблюдения зафиксировали их лишь на двух станциях, при этом на трети суток (заблаговременность 72 ч) осадки больше 10мм/12ч подтвердились на четырех станциях из пяти. Дальнейшие результаты прогнозов содержали предупреждения о сильных осадках до 30 мая включительно (табл. 2) при относительно небольшом проценте «ложных тревог» на отдельных станциях.

Сравним оправдываемость прогнозов наличия осадков более 10 мм и их предупрежденность в среднем по территории Республики Алтай за паводковый период 24–31 мая 2014 г. (рис. 4). Видно, что предупрежденность интенсивных осадков по модели COSMO существенно выше за счет небольшой потери в оправдываемости (за исключением первых полусуток). Таким образом, при строгих оценках попадания прогностических осадков на конкретные точки наблюдений в среднем расчеты по COSMO показали хороший результат на весь период заблаговременности: сумма оценок 140 % и выше, предупреждения о сильных осадках поступали за трое суток в 80–60 % случаев. Качество прогнозов по модели ПЛАВ нестабильно менялось по времени с ухудшением на 36 и 60 ч, на 72 ч – прогнозы вовсе не содержали значения больше 10 мм.

Таблица 1

**Наблюденные и прогностические полусуточные осадки по станциям  
Республики Алтай от 24 мая 2014 г.**

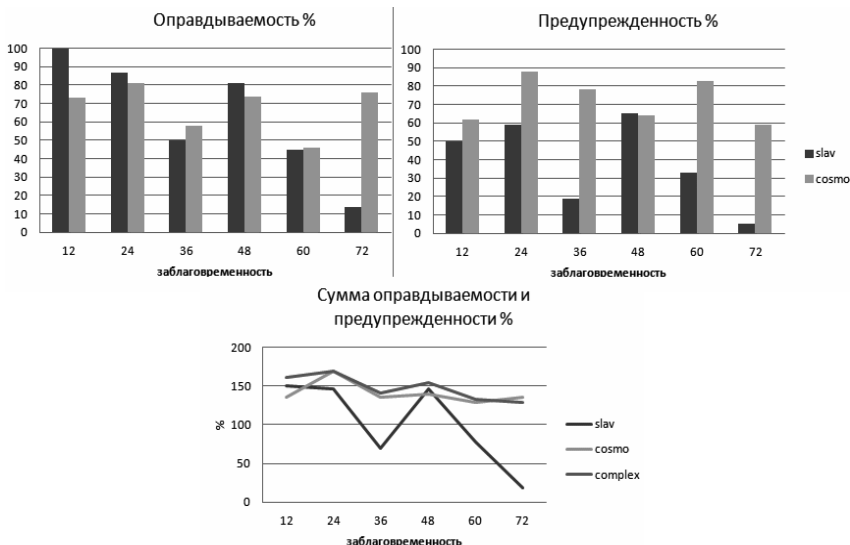
Станции	Тип данных	Срок наблюдений					
		12	24	36	48	60	72
Кызыл-Озек	факт	0	3	15	5	6	22
	ПЛАВ	1	13	2	8	10	5
	COSMO	0	15	2	0	5	10
Шебалино	факт	0	12	2	0	0	13
	ПЛАВ	2	8	3	6	4	2
	COSMO	0	10	1	0	2	4
Чемал	факт	0	9	3	0	0	17
	ПЛАВ	3	9	4	7	5	2
	COSMO	0	20	7	0	7	33
Турочак	факт	0	3	10	5	27	11
	ПЛАВ	1	14	2	9	20	11
	COSMO	0	17	3	0	6	6
Яйлю	факт	0	1	10	4	21	33
	ПЛАВ	0	6	3	8	6	0
	COSMO	0	15	9	7	24	24
Усть-Кан	факт	0	15	0	3	0	7
	ПЛАВ	1	8	2	5	1	1
	COSMO	0	9	1	2	1	1
Усть-Кокса	факт	0	3	2	1	2	1
	ПЛАВ	2	3	3	5	2	1
	COSMO	0	4	12	3	2	6
Онгудай	факт	0	2	0	0	0	3
	ПЛАВ	4	4	4	6	4	1
	COSMO	0	5	4	1	1	9
Катанда	факт	0	3	4	3	1	4
	ПЛАВ	1	1	4	5	2	1
	COSMO	0	4	10	6	3	2
Кара-Тюрек	факт	0	0	0	3	0	1
	ПЛАВ	0	1	4	5	2	0
	COSMO	0	5	15	8	2	2

Таблица 2

**Наблюденные и прогностические полусуточные осадки по станциям  
Республики Алтай от 27 мая 2014 г.**

Станции	Тип данных	Срок наблюдений					
		12	24	36	48	60	72
Кызыл-Озек	факт	7	1	9	14	28	22
	ПЛАВ	6	2	5	5	1	0
	COSMO	0	6	14	1	21	10
Шебалино	факт	5	3	4	24	15	14
	ПЛАВ	9	1	10	15	10	1
	COSMO	5	0	1	6	26	13
Чемал	факт	20	4	3	22	16	15
	ПЛАВ	10	0	11	15	10	1
	COSMO	2	3	16	5	21	15
Турочак	факт	3	0	6	9	23	20
	ПЛАВ	4	1	5	3	1	0
	COSMO	0	9	9	0	16	7
Яйлю	факт	9	7	8	31	13	28
	ПЛАВ	13	0	16	13	6	1
	COSMO	4	9	35	5	17	17
Усть-Кан	факт	2	9	1	15	3	9
	ПЛАВ	5	0	5	14	9	1
	COSMO	3	0	1	17	27	11
Усть-Кокса	факт	1	6	2	3	2	28
	ПЛАВ	4	1	3	22	17	0
	COSMO	19	3	9	20	19	24
Онгудай	факт	16	4	1	12	10	21
	ПЛАВ	7	1	7	23	16	1
	COSMO	4	0	1	26	18	20
Катанда	факт	3	6	2	1	3	11
	ПЛАВ	3	1	2	18	19	0
	COSMO	8	0	2	21	16	21
Кара-Тюрек	факт	3	5	1	1	1	10
	ПЛАВ	1	1	2	13	16	1
	COSMO	2	0	1	27	20	31

Если для конкретной гидрологической задачи требуется оценить наиболее высокое возможное количество осадков, то, как пример, возможен вариант комплексации, где выходом является максимальное значение из модельных прогнозов. Результат такой комплексации из двух моделей для анализируемого периода повысил предупредительность практически без потерь в оправдываемости, что демонстрирует график суммы этих оценок на рис. 4.

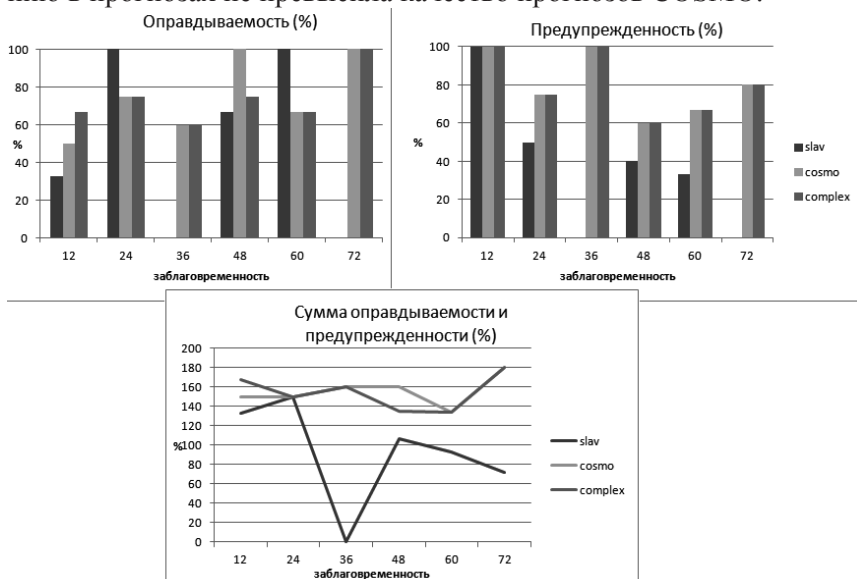


**Рис. 4. Средние оценки прогнозов осадков  $\geq 10\text{мм}/12\text{ч}$  по станциям Республики Алтай за период 24–31 мая 2014 г. Модели ПЛАН, COSMO и их комплексация.**

Для прогноза изменения уровней рек в гидрологических схемах и моделях важно учитывать ожидаемые осадки по большим площадям. Это могут быть средние по бассейну или сумма вдоль стоков горных рек относительно местоположения населенных пунктов. Исследования по учету в гидрологических схемах суммы модельных осадков вдоль стоков рек для расчета изменения уровней рек вблизи населенных пунктов в горном Алтае еще предстоят. В данной работе представляла интерес оценка возможности



использования суммы осадков по бассейнам рек. Рассмотрим количество суммарных модельных осадков по точкам наблюдения осадков по бассейну Катунь с верхних точек до пункта Чемал, одного из наиболее пострадавших во время наводнения. Выше Чемала всего 4 метеостанции, именно по ним (включая Чемал) просуммированы модельные и фактические осадки. На рис. 5 приведены оценки оправдываемости и предупрежденности суммы осадков более 25 мм за полусутки. Фактически таких осадков за период 24–31 мая в ночное время было три, в дневное – пять случаев. Примерно столько же раз (3–5 в зависимости от заблаговременности) прогнозировались суммы более 25 мм по модели COSMO, по модели ПЛАВ гораздо реже – от нуля до трех случаев, поэтому графики подтверждают низкую предупрежденность последних. В данном случае комплексация по максимальному значению в прогнозах не превысила качество прогнозов COSMO.



**Рис. 5. Средние оценки прогнозов осадков  $\geq 25\text{мм}/12\text{ч}$  по бассейну Катунь до пункта Чемал за период 24–31 мая 2014 г. Модели ПЛАВ, COSMO и их комплексация.**

Приведенные оценки показывают значимость модельных прогнозов для плохо освещенной территории горного Алтая, однако для окончательных выводов о качестве прогнозирования их недостаточно ввиду малого числа случаев с сильными осадками. Поэтому рассмотрим результаты прогнозов летних осадков в 2015 г. Период осреднения – июнь–сентябрь 2015 г. Всего порядка 115 ежедневных оперативных прогнозов на каждую заблаговременность. Добавим для сравнения прогнозы по модели GFS центра NCEP с разрешением  $0,5^\circ$ . Оценки по Наставлению [8] показали сопоставимое качество прогнозов осадков по моделям COSMO и NCEP (рис. 6) – средняя оправдываемость около 80 %. Прогнозы по модели ПЛАВ чаще имеют грубые ошибки, что видно по высокой среднеквадратической ошибке.

Приведем аналогичные мая 2014 г. оценки для бассейна Катунь до пункта Чемал на базе данных 2015 г. Наиболее высокую оправдываемость осадков – более 25мм/12ч – показали прогнозы COSMO, по предупреденности наиболее устойчивые преимущества у модели NCEP (рис. 7). По модели ПЛАВ резко снижается число прогнозов сильных осадков на 72 ч и повторяется факт их нулевой оправдываемости, как и в 2014 г. Просмотр прогностического ряда показал, что модель ПЛАВ чаще других дает очень интенсивные осадки, не подтвержденные наблюдениями. В данном случае для сильных осадков наиболее достоверный вариант дает комплексация прогнозов по COSMO и NCEP.

Проблемы точности прогнозов сильных осадков остаются актуальными на сегодняшний день несмотря на различные подходы к решению [1, 9]. Особенно трудна локализация таких осадков в случаях их выпадения из отдельных мощно-кучевых облаков. Кроме того, в этих случаях отрицательный вклад в оправдываемость прогнозов вносит «просеивание» фактических данных в условиях редкой сети наблюдений. Тем не менее анализ результатов в летнем периоде 2015 г., в который попали осадки как фронтального происхождения, так и вызванные развитием локальной конвекции, подтвердил удовлетворительное качество модельных прогнозов осадков, но только на сроки до 60 ч.

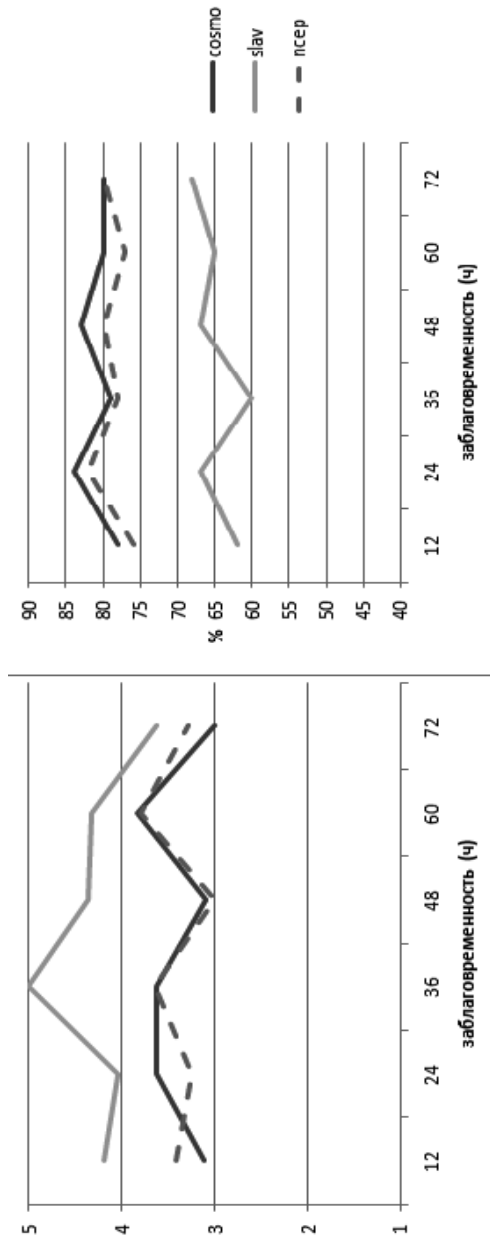


Рис. 6. Среднеквадратическая ошибка (слева) и средняя (по факту и количеству) оправдываемость (справа) прогнозов осадков по территории Республики Алтай. Июнь – сентябрь 2015 г.

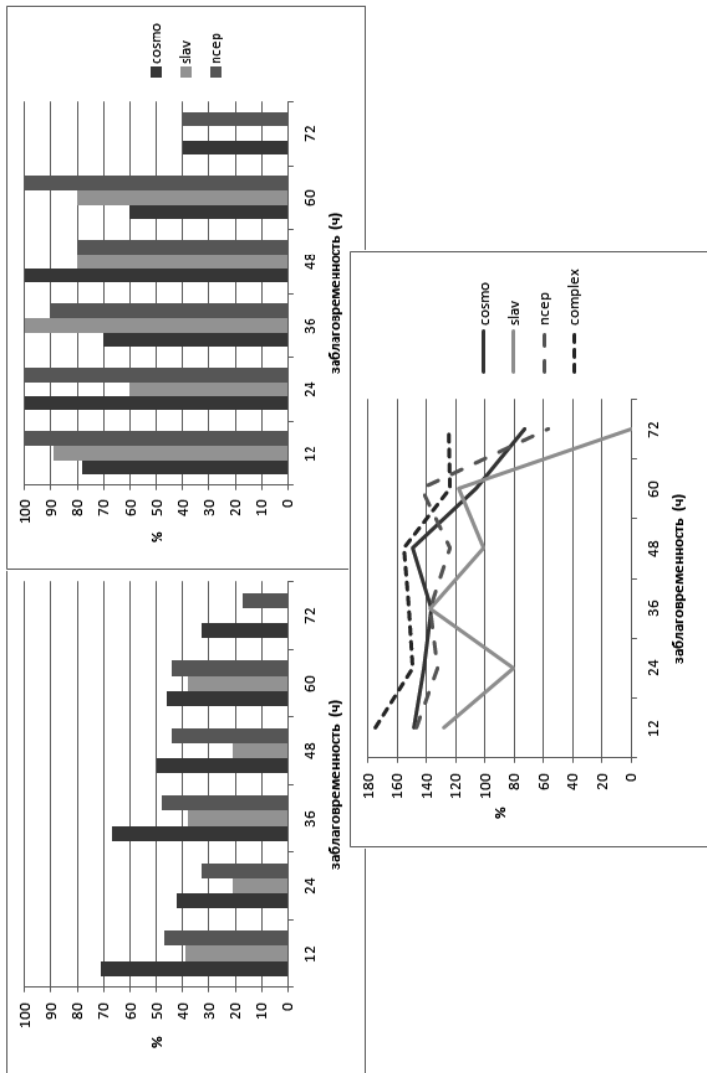


Рис. 7. Оправдываемость (слева), предупрежденность (справа) и их сумма (внизу) прогнозов осадков  $\geq 25\text{мм}/12\text{ч}$  по бассейну Катунь до пункта Чемал за период июнь–сентябрь 2015 г.

Высокий уровень предупрежденности интенсивных осадков имеют прогнозы по модели COSMO с достаточно низким процентом «ложных тревог» на дневную часть суток (на 12 и 36 ч оправдываемость в районе 70 %). Еще более высокий процент предупрежденности по модели GFS (NCEP), но при этом оправдывается лишь около половины и меньше прогнозов. Более неустойчивое качество прогнозов ПЛАВ.

### **Краткие выводы**

Представленный анализ содержит предварительные выводы о качестве непосредственно модельных прогнозов осадков в сложной по орографии и плохо освещенной фактическими наблюдениями территории горного Алтая. Результаты позволяют сделать вывод о возможности использования их в гидрологических схемах и моделях как одного из факторов формирования паводков, тем более что для задач гидрологии важны площадные суммы осадков. Примером может служить разработанная в Гидрометцентре России система краткосрочных гидрологических прогнозов расхода воды на реках Кубани [4]. В потенциале применимы варианты для уточнения прогнозов осадков различными процедурами интерпретации [2, 9, 11], комплексации [3], распознавания синоптических ситуаций. Требуются исследования по оптимальному размеру площадей осреднения или суммирования осадков по бассейнам рек, по уравнениям их связи с уровнями.

### **Список использованных источников**

1. *Алексеева А.А.* Подходы к решению проблемы прогнозирования сильных летних осадков // Труды Гидрометцентра России. – 2014. – Вып. 351. – С. 64–84.
2. *Алексеева А.А., Лосев В.М.* Прогноз сильных летних дождей на основе выходных данных региональной модели Гидрометцентра России // Труды Гидрометцентра России. – 2014. – Вып. 351. – С. 43–63.
3. *Багров А.Н., Гордин В.А., Халявин А.В.* Ансамблевый прогноз приземной температуры воздуха и количества осадков // Метеоспектр. – 2009. – № 4. – С. 113–115.

4. *Борщ С.В., Симонов Ю.А.* Оперативная система краткосрочных прогнозов гидрологических расхода воды на реках бассейна Кубани // Труды Гидрометцентра России. – 2014. – Вып. 349. – С. 63–87.
5. *Вильфанд Р.М., Ривин Г.С., Розинкина И.А.* Мезомасштабный краткосрочный прогноз погоды в Гидрометцентре России на примере COSMO-Ru // *Метеорология и гидрология.* – 2010. – № 1. – С. 5–17.
6. *Вильфанд Р.М., Ривин Г.С., Розинкина И.А.* Современные оперативные системы численного прогноза погоды для ограниченной территории // Труды СибНИГМИ. – 2011. – Вып. 106. – С. 5–12.
7. *Мухин В.М.* Методические основы физико-статистических видов краткосрочных прогнозов стока горных рек // Труды Гидрометцентра России. – 2014. – Вып. 349. – С. 5–46.
8. *Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения.* РД 52.27.724-2009. – М.; Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2009. – 50 с.
9. *Никифорова А.Е., Песков Б.Е.* Прогноз летних дождей с использованием результатов постпроцессинга прогнозов осадков COSMO-Ru7 // Труды Гидрометцентра России. – 2014. – Вып. 351. – С. 5–22.
10. *Толстых М.А.* Полулагранжева модель атмосферы с высоким разрешением для численного прогноза погоды // *Метеорология и гидрология.* – 2001. – № 4. – С. 5–16.
11. *Hewson T., Pappenberger F.* Predicting Flash Floods using Current-Generation Global Models. 2015. – <http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2015/EMS2015-640.pdf> (access date: 30.10.2015)
12. *Tolstykh M.* Vorticity-divergence semi-Lagrangian shallow-water model on the sphere based on compact finite differences // *J. Comput. Phys.* – 2002. – Vol. 179. – P. 180–200

*Поступила в редакцию 29.10.2015 г.*