

*В.А. Кузьмин, У.Е. Коротыгина, И.С. Гаврилов,  
А.Г. Сурков, С.Ю. Сергеенко*

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТИ  
ПРОГНОЗОВ СТОКА СРЕДНИХ РЕК  
ПУТЕМ СТЫКОВКИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ  
ПОГОДЫ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

*V.A. Kuzmin, U.E. Korotygina, I.S. Gavrilov,  
A.G. Surkov, S.Yu. Sergeenko*

**ON THE POSSIBILITY TO EXTEND LEAD TIME  
OF THE MEDIUM RIVERS STREAMFLOW FORECASTS  
THROUGH COUPLING OF NWP AND HYDROLOGICAL MODELS**

*Показаны пути увеличения заблаговременности прогнозов стока средних рек путем использования «выхода» гидродинамических моделей погоды в качестве «входа» оперативных гидрологических моделей. В связи со значительной пространственно-временной неопределенностью выходных данных гидродинамических моделей, спрогнозированные осадки нельзя использовать для прогнозирования стока малых рек, однако для средних рек они вполне приемлемы. Рассмотрена возможность применения «выхода» моделей HIRLAM, JMA и LAPS в качестве «входа» модели «Сакраменто».*

*Ключевые слова: гидродинамические модели погоды, оперативные гидрологические модели, стыковка, моделирование, прогнозы, средние водосборы.*

*In this paper, possible ways to extend lead time of the medium rivers streamflow forecasts through coupling of NWP and operational hydrological models are shown. Due to significant spatiotemporal uncertainty of the NWP models output, the modeled precipitation cannot be used to simulate the runoff of small rivers; meanwhile they can be quite useful for operational forecasting in medium size catchments. In particular, the HIRLAM and LAPS models output data are considered as an input of the Sacramento Soil Moisture Accounting model used for modelling streamflow in medium scale catchments located in Australia, Finland and Japan.*

*Key words: NWP models, operational hydrological models, coupling, modelling, forecast, medium size catchments.*

Повышение заблаговременности краткосрочных прогнозов речного стока при сохранении приемлемой точности является одной из наиболее важных и сложных задач гидрологической науки как в Российской Федерации, так и за ее пределами, поскольку от этого зависит эффективность управленческих решений, принимаемых на основе выпущенных прогнозов, и мероприятий по уменьшению негативных последствий опасных гидрологических явлений.

В данной статье рассмотрены и проанализированы результаты численных экспериментов по прогнозированию стока рек Австралии, Финляндии и Японии с повышенной заблаговременностью, достигнутой за счет использования выходных данных гидродинамических моделей погоды (NWP) в качестве «входа»

гидрологической модели «Сакраменто» [Burnash, 1973]. Подчеркнем, что данное исследование носит во многом пилотный характер. Его основная цель – выявление возможных технических или методологических проблем, которые должны быть изучены и по возможности решены при разработке методологии повышения заблаговременности краткосрочных прогнозов стока [Руководство, 1989; Guide, 1994].

Численные эксперименты проводились следующим образом.

Сначала было выполнено «обычное» прогнозирование стока 23 водотоков, расположенных в австралийском штате Новый Южный Уэльс, 9 – на японском о. Хоккайдо и 14 – в Финляндии, с переменной заблаговременностью от 1 до 3 суток. В качестве «входа» модели «Сакраменто» [Burnash, 1973] были использованы данные наземных наблюдений за осадками и данные об испарении из климатических справочников. Общая длина используемых временных рядов составила 18 лет для водотоков Австралии, 4 года – Японии и 2 года – Финляндии. Временные ряды были разбиты пополам. Первая половина была использована для калибровки модели «Сакраменто» методом SLS [Кузьмин, 2009а; Кузьмин, 2009б; Kuzmin, 2008], вторая – для валидации найденных параметров (на независимом материале). Для калибровки модели в качестве целевой функции была использована многомасштабная целевая функция MSOF, предложенная В.И. Корнем [Kuzmin, 2008]. Эффективность прогнозов оценивалась при помощи известного критерия Нэша-Сатклифа NS [Nash, 1970].

Затем калибровка модели «Сакраменто» была выполнена на основе моделирования стока по данным об осадках, полученным на «выходе» моделей LAPS NSW [Ebert, 2001; Kuzmin, 2007] для австралийских, HIRLAM [Uden, 2002] – для финских и модели JMA [Onogi, 2007] – для японских водотоков за 1 год. Валидация этих параметров была выполнена для 1 года для австралийских и японских водотоков и теплого полугодия – для финских. Заблаговременность выпущенных прогнозов составляла 5–7 суток. Как и в предыдущем случае, для калибровки модели (методом SLS-E [Кузьмин, 2009а; Кузьмин, 2009б; Kuzmin, 2008]) была использована многомасштабная целевая функция MSOF, а для оценивания эффективности – критерий Нэша-Сатклифа NS.

Результаты валидации представлены в табл. 1–3 и проиллюстрированы на рис. 1–3. Их анализ позволяет сделать следующие выводы:

– использование «выхода» гидродинамических моделей погоды в качестве «входа» гидрологической модели позволяет повысить заблаговременность прогнозов с 1–3 до 5–7 суток;

– этот метод наиболее эффективен для прогнозирования стока со средних водосборов (площадью от 1000 до 10 000 км<sup>2</sup>), поскольку в этом случае снижается зависимость точности прогнозов стока от пространственно-временной неопределенности моделируемых осадков;

– описанный подход показал наилучшие результаты при прогнозировании стока рек о. Хоккайдо, поскольку модель JMA была откалибрована и протести-

рована в первую очередь для домена, покрывающим Японию, в результате чего «выход» модели имеет стабильную структуру ошибок; кроме того, это может быть объяснено муссонным характером выпадающих осадков;

– наихудшие результаты были получены для финских водотоков. Это может быть объяснено как более высокой неопределенностью модели HIRLAM, так и большой ролью болот и озер, которая сравнительно слабо отражается моделью «Сакраменто»;

– площадь водосборов, для прогнозирования стока с которых целесообразно использовать «выход» гидродинамических моделей может изменяться от страны к стране; в общем случае она зависит от используемых гидродинамических моделей и региональных особенностей выпадающих осадков.

*Таблица 1***Перечень исследуемых водосборов штата Новый Южный Уэльс (Австралия)**

№	Водоток	Пост	Площадь, км <sup>2</sup>	NS <sub>1</sub>	NS <sub>1</sub>
1	руч. Джилмор	Уэйбэлина	140	0,69	0,33
2	руч. Куямба	Бук-Бук	145	0,72	0,31
3	руч. Аделонг	Бэтлоу Роуд	155	0,71	0,29
4	руч. Таркутта	Вестбрук	308	0,64	0,33
5	р. Ясс	Гундару	388	0,8	0,43
6	руч. Аджангбилли	Дарбалара	411	0,75	0,53
7	руч. Куямба	Леди Смит	530	0,76	0,59
8	руч. Хиллис	Маунт-Одра	568	0,66	0,51
9	р. Губаррагандра	Лакмалак	673	0,61	0,51
10	р. Нумералла	школа (school)	673	0,67	0,55
11	руч. Муттама	Кулак (Coolac)	1025	0,7	0,62
12	р. Гудраидджи	Ви Джаспер	1165	0,65	0,63
13	р. Тумут	Мост Оддис	1630	0,63	0,78
14	р. Тумут	склад Блоуэринг	1630	0,65	0,75
15	руч. Таркутта	Олд Борамбола	1660	0,6	0,71
16	р. Муррумбиджи	Миттаганг-Кроссинг	1891	0,59	0,79
17	р. Тумут	Тумут	2540	0,68	0,81
18	руч. Биллабонг	Уолбандри	3065	0,62	0,77
19	р. Тумут	мост Брангли	3300	0,61	0,84
20	р. Муррумбиджи	Биллилингра	3745	0,58	0,72
21	р. Муррумбиджи	дамба Барринджак	13100	0,55	0,42
22	р. Муррумбиджи	Гандагаи	21100	0,49	0,48
23	р. Муррумбиджи	Вагга-Вагга	26400	0,44	0,46

Таблица 2

**Перечень исследуемых водосборов о. Хоккайдо**

№	Водоток	Пост	Площадь, км <sup>2</sup>	NS <sub>1</sub>	NS <sub>2</sub>
1	Макоманаигава	Саппоро	37	0,78	0,54
2	Румоигава	Румои	270	0,72	0,58
3	Шибедугава	Шибеду	294	0,75	0,66
4	Коегоигава	Ваканаи	295	0,72	0,65
5	Акангава	Куширо	718	0,69	0,71
6	Ширибеши-Тошибедугава	Сегана	720	0,65	0,72
7	Тоёхирагава	Саппоро	959	0,73	0,79
8	Шокоцугава	Такиное	1240	0,62	0,78
9	Юбецугава	Юбецу	1480	0,61	0,81

Таблица 3

**Перечень исследуемых водосборов Финляндии**

№	Водоток	Пост	Площадь, км <sup>2</sup>	NS <sub>1</sub>	NS <sub>2</sub>
1	Кокемяньйоки	Китусъярви-луусуа	546	0,52	0,48
2	Паймионйоки	Юванкоски	785	0,54	0,52
3	Кымийоки	Пяйярви-луусуа	1214	0,58	0,53
4	Карьяньйоки	Пелтокоски	1935	0,67	0,70
5	Оулуйоки	Лентуа-луусуа	2045	0,64	0,68
6	Паатсьйоки	Кеттуйоки	2215	0,63	0,68
7	Калайоки	Нискакоски	3065	0,68	0,72
8	Торнионйоки	Хаапакоски	3089	0,61	0,79
9	Кокемяньйоки	Таммеркоски	7672	0,66	0,82
10	Оулуйоки	Леппикоски	8625	0,65	0,77
11	Иийоки	Раасакка	14191	0,70	0,79
12	Вуокси	Каллавеси	16270	0,68	0,65
13	Кымийоки	Леппявеси	17684	0,63	0,68
14	Кокемяньйоки	Харьявалта	26117	0,70	0,73

Зависимость критерия Нэша-Сатклифа прогнозов с обычной (1) и увеличенной (2) заблаговременностью для водотоков штата Новый Южный Уэльс (Австралия)

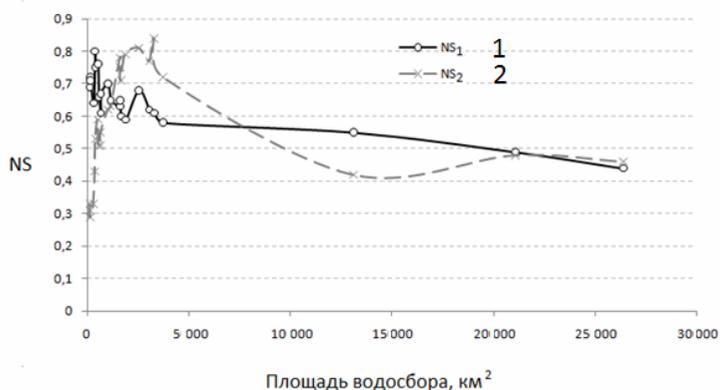


Рис. 1. Результаты валидации (поверочных прогнозов) для водотоков, расположенных в штате Новый Южный Уэльс

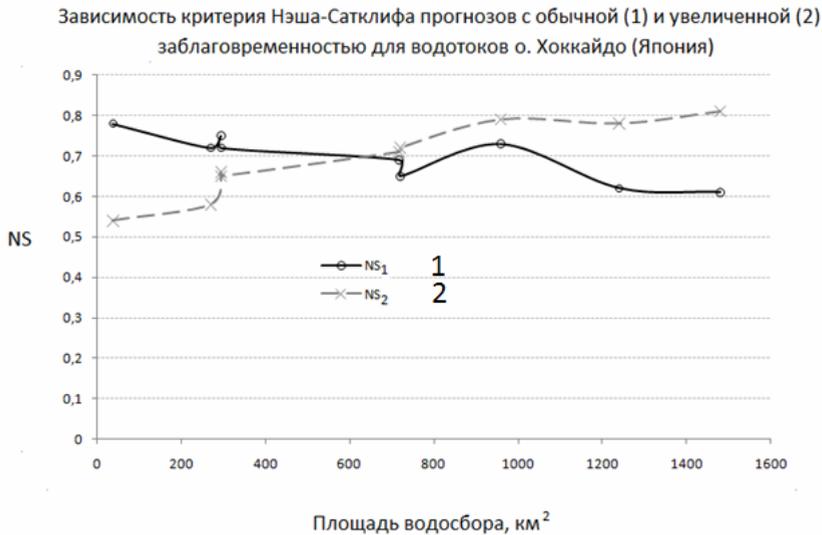


Рис. 2. Результаты валидации для водотоков, расположенных на о. Хоккайдо

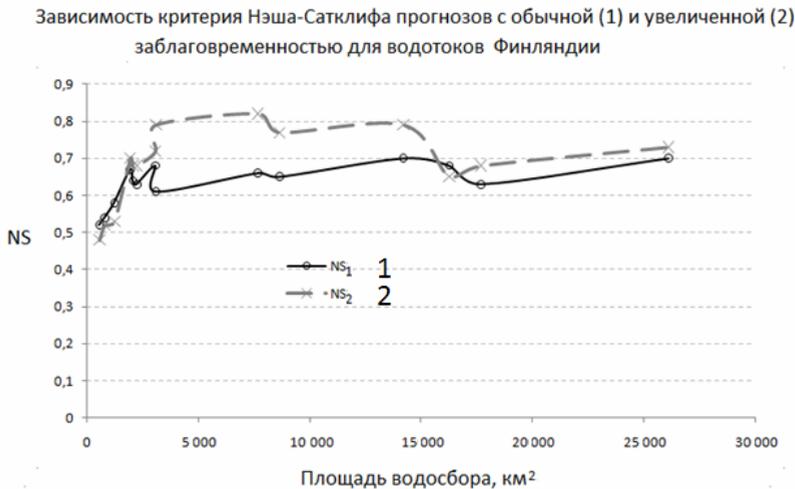


Рис. 3. Результаты валидации для водотоков, расположенных в Финляндии

**Литература**

1. Кузьмин В.А. Основные принципы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования дождевых паводков [Текст] / В.А. Кузьмин // Метеорология и гидрология, 2009, № 6, с. 88–99.
2. Кузьмин В.А. Алгоритмы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования паводков [Текст] / В.А. Кузьмин // Метеорология и гидрология, 2009, № 7, с. 74–85.

3. Руководство по гидрологическим прогнозам, т. 2: Краткосрочный прогноз расхода и уровня воды на реках [Текст] – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 246 с.
4. *Burnash, R. J. C., Ferral, R. L., McGuire, R. A.* A generalized streamflow simulation system: conceptual models for digital computers (Joint Fed.-State River Forecast Center, Sacramento, CA, 1973).
5. *Ebert, E.E* 2001. Ability of a poor man's ensemble to predict the probability and distribution of precipitation. *Monthly Weather Review*, 129, 2461-2480.
6. Guide to Hydrological Practices. Fifth edition [Text] / World Meteorological Organization.–Geneva.–WMO, No. 168, 1994. – 739 p.
7. *Kuzmin, V., Seo, D.-J., Koren, V.* Fast and efficient optimization of hydrologic model parameters using a priori estimates and stepwise line search // *J. of Hydrol.*, vol. 353, iss. 1–2, 2008, pp. 109–128.
8. *Kuzmin, V.* Australian Government Bureau of Meteorology forecast and real-time observational hydrometeorological data for hydrologic forecasting [Text] / V. Kuzmin, A. Seed, J. Walker // eWater CRC Technical Report. eWater CRC. Canberra. 2007. – 29 p.
9. *Nash, J.E.* River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles [Text] / J.E. Nash, and J.V. Sutcliffe // *Journal of Hydrology*, 1970, No. 10 (3), p.282–290.
10. *Onogi, K.* The JRA-25 Reanalysis [Text] / Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji, R. Taira // *J. Meteor. Soc. Japan.*, 2007, 85, pp.369–432.
11. *Undén P.* The HIRLAM-5[Text] / Undén P., Rontu L., Jarvinen H., Lynch P., Calvo J., Cats G., Cuxart J., Eerola K., Fortelius C., Garcia-Moya J.A., Jones C., Lenderlink G., McDonald A., McGrath R., Navascues B., Nielsen N.W., Ødergaard V., Rodrigues E., Rummukainen M., Rõõm R., Sattler K., Sass B.H., Savijärvi H., Schreur B.W., Sigg R., The H., Tijm A. // Scientific documentation. SMHI. Sweden. 2002. – 56 p.

Представленные исследования выполнялись в рамках проекта, поддержанного в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» по открытому публичному конкурсу по отбору организаций на право получения субсидий на реализацию комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства.