

*В.А. Кузьмин, Т.П. Проданов, Н.А. Рошет,  
А.А. Полякова, М.В. Симаповская, И.С. Гаврилов*

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ MLCM2**

*V.A. Kuzmin, T.P. Prodanov, N.A. Roshet,  
A.A. Polyakova, M.V. Simanovskaya, I.S. Gavrilov*

## **THE MULTI-LAYER CONCEPTUAL MODEL SOFTWARE (MLCM2)**

*В работе рассмотрено разработанное в РГГМУ программное обеспечение, предназначенное для моделирования и прогнозирования стока на основе гидрологической модели MLCM2 (от англ. «Multi-Layer Conceptual Model, version 2» – многослойная концептуальная модель, вторая версия). Программное обеспечение MLCM2 отличается высокой эффективностью моделирования и прогнозирования дождевых паводков на малых водосборах, обладающих различной степенью гидрометеорологической изученности.*

*Ключевые слова: прогнозирование, гидрологическая модель MLCM2, программное обеспечение, данные, дождевой паводок, прогнозы, снижение неопределенности*

*In this paper, recently developed in RSHU new software based on the Multi-Layer Conceptual Model (MLCM2), which can be applied for the stream flow modelling and forecasting, is presented. This software is found very efficient in the flashfloods modelling and forecasting in small gauged, poorly gauged and ungauged catchments.*

*Key words: forecasting, hydrological model MLCM2, software, data, flash flood, forecasts, decreasing uncertainly.*

В нашей стране насчитывается около 2 миллионов водотоков, являющимися малоизученными или неизученными в гидрологическом отношении, что составляет практически 4/5 от их общего числа. Поэтому существует объективная необходимость разработки такой прогностической технологии, которая, во-первых, была бы применима для прогнозирования опасных гидрологических процессов и явлений на малоизученных и неизученных водосборах, а во-вторых, была бы ориентирована на нужды конкретных потребителей гидрометеорологической информации [1–10]. Для достижения этой цели в РГГМУ в рамках НИР «Автоматизированное прогнозирование опасных гидрологических процессов и явлений на малоизученных и неизученных водосборах Российской Федерации» была разработана современная технология прогнозирования дождевых паводков на неизученных и малоизученных (в метеорологическом и гидрологическом отношении) водосборах, основанная на использовании гидрологической модели MLCM2.

Формирование «входа» гидрологической модели MLCM2 осуществляется путём интегрирования данных дистанционного зондирования и «выхода» численных моделей погоды. При прогнозировании стока с малоизученных (в метеорологическом отношении) водосборов эти данные проходят процедуру усво-

ения с использованием редких наземных наблюдений. При прогнозировании стока с неизученных (в метеорологическом отношении) водосборов эти данные проходят процедуру усвоения с использованием редких наземных наблюдений. Полный алгоритм автоматизированного прогнозирования дождевых паводков и его функциональные элементы проиллюстрированы на рис. 1.

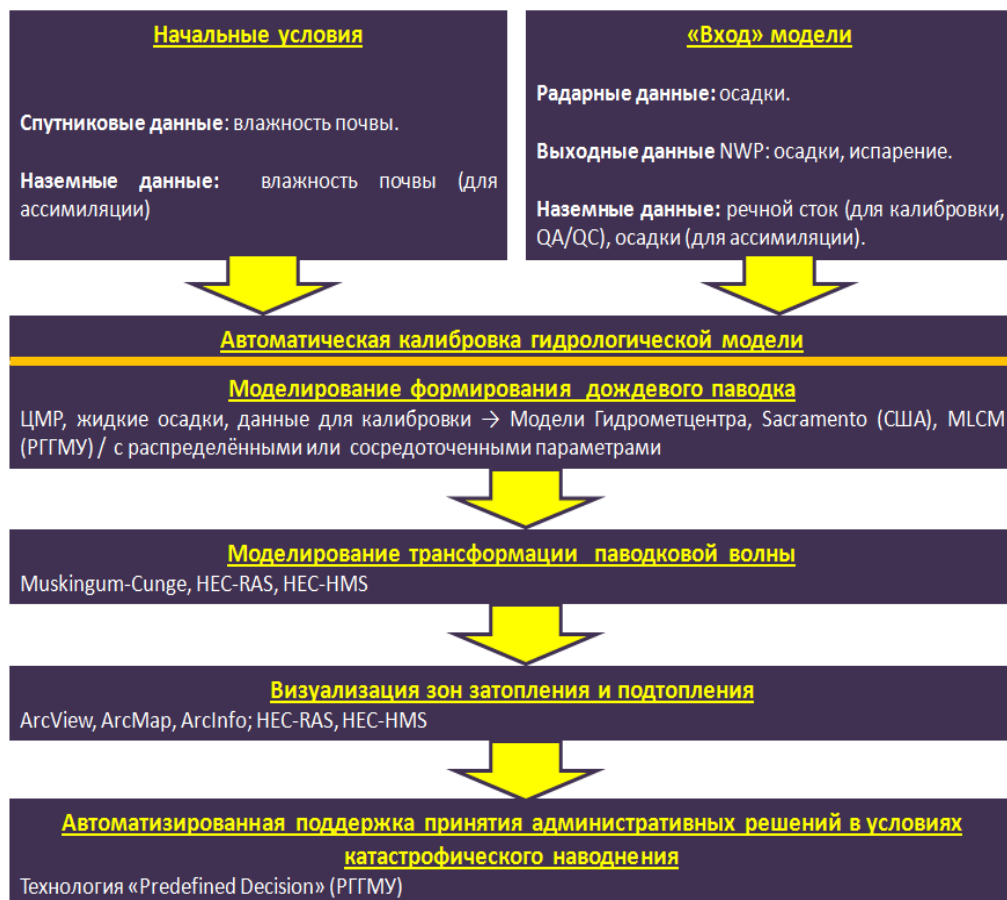


Рис. 1. Алгоритм автоматизированного прогнозирования дождевых паводков

Автоматическая калибровка модели MLCM2 выполняется при помощи специально разработанного для этой цели оптимизационного алгоритма [1, 9]. Крупные и средние водосборы разбиваются на более мелкие частные водосборы, являющиеся либо изученными, либо неизученными (в гидрологическом отношении). Фоновое прогнозирование дождевых паводков может быть выполнено при помощи модели MLCM2 в автоматическом режиме; для тех водосборов, где установлено повышение риска паводка, затем может быть выполнено уточнённое прогнозирование (в автоматическом или интерактивном режиме).

Блоки моделирования распространения паводковой волны, визуализации зон затопления и автоматизированной поддержки принятия административных решений являются опциональными

На рис. 3 и 4 представлен пользовательский интерфейс ПО MLCM2. Программа «MLCM2.exe» работает под управлением операционной системы Microsoft Windows 7 или Microsoft Windows 8. После запуска исполняемого файла «MLCM2.exe» выполняются следующие функции:

1. Считывание файла настроек.
2. Калибровка модели.
3. Расчет.
4. Экспорт полученной информации.

Вызов программы производится вручную или по таймеру (планировщику задач). По умолчанию входными данными для программы «MLCM2.exe» являются:

1. Данные мезомасштабной метеорологической модели WRF в формате NetCDF;
2. Информация о водосборе в формате CSV.

Кроме того, пользователь имеет возможность произвольно выбирать требуемые массивы данных и вручную вводить морфометрические характеристики водосбора.

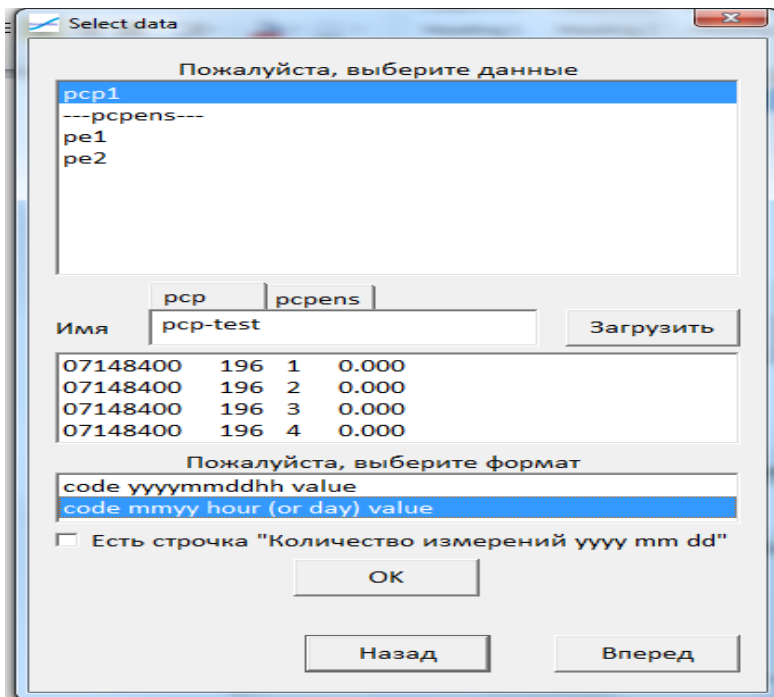


Рис. 2. Вкладка загрузки данных модели MLCM2

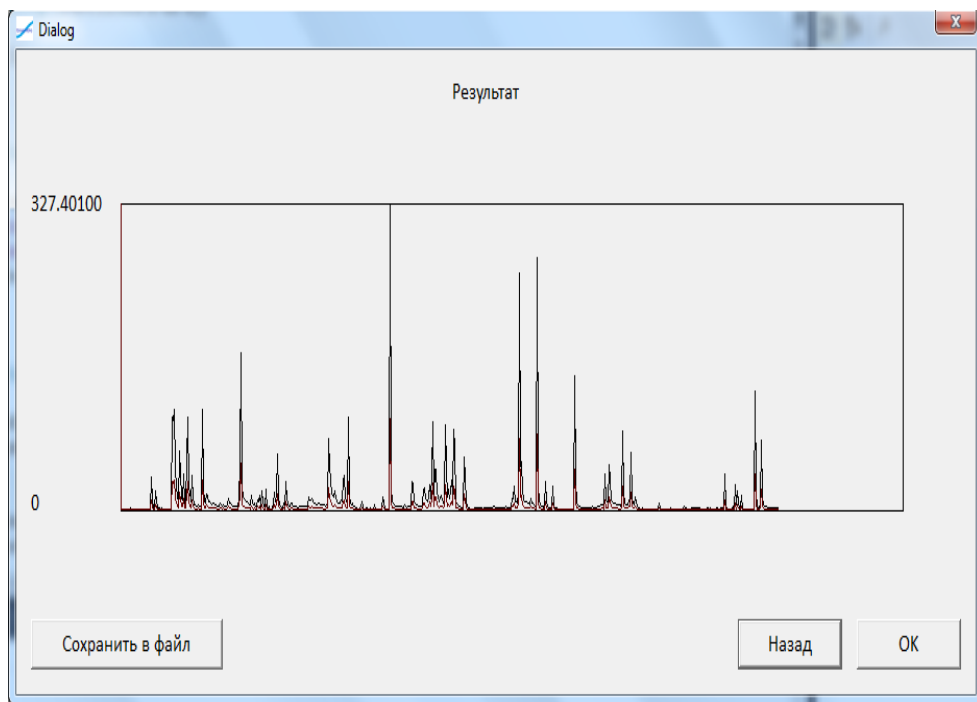


Рис. 3. Вкладка вывода полученных результатов

В ходе выполнения НИР «Автоматизированное прогнозирование опасных гидрологических процессов и явлений на малоизученных и неизученных водосборах Российской Федерации» было выполнено тестирование разработанного программного обеспечения и сравнение полученных результатов с результатами тестового прогнозирования стока на основе наиболее широко используемой в мире американской модели «Сакраменто» (the Sacramento Soil Moisture Accounting model, SAC-SMA [11–13]). Как следует из табл. 1, модель MLCM2 является более эффективным инструментом прогнозирования дождевых паводков, чем модель «Сакраменто». В первую очередь, это объясняется повышенным уровнем функциональности модели MLCM2, которая обладает гибкой структурой и более эффективно калибруется, чем SAC-SMA.

Основными конструктивными и технологическими особенностями разработанной технологии являются:

- высокая прогностическая эффективность прогнозирования стока на основе модели MLCM2;
- возможность использования разработанной технологии для эффективного фоновое прогнозирования стока на неизученных и малоизученных реках [1–9];
- возможность использования разработанной технологии для автоматизированной поддержки принятия управленческих решений в условиях опасных и катастрофических паводков и половодий.

Таблица 1

## Результаты численных экспериментов по моделированию дождевых паводков

№ п/п	Код водотока	Значение целевой функции MSOF	
		MLCM2	SAC-SMA
1	ATIT2	18.57	19.36
2	DCJT2	14.49	16.13
3	GBHT2	10.41	11.35
4	GETT2	14.50	16.22
5	GNVT2	13.10	14.39
6	HBMT2	25.25	27.02
7	HNTT2	28.61	30.99
8	JTBT2	11.85	12.19
9	KNLT2	12.29	11.55
10	LYNT2	10.38	10.22
11	MCKT2	12.44	13.87
12	MDST2	25.54	25.79
13	MTPT2	31.49	33.92
14	PICT2	33.11	38.00
15	QLAT2	12.69	14.38

ПО MLCM2 было использовано в качестве основы для создания технологии ансамблевого прогнозирования стока «ERF» (от англ. «Ensemble Runoff Forecasting» – ансамблевое прогнозирование стока), не имеющего известных аналогов ни в Российской Федерации, ни за её пределами. Кроме того, оно может быть использовано для создания автоматизированной системы поддержки принятия управленческих решений в условиях опасных и катастрофических дождевых паводков и сезонных половодий.

### Литература

- Кузьмин В.А. Комплексное использование данных дистанционного зондирования, наземных наблюдений и численных прогнозов погоды при автоматизированном прогнозировании стока // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 16-27.
- Кузьмин, В.А. Алгоритмы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования паводков // Метеорол. и гидрол., 2009, № 7, с. 92-104.
- Кузьмин В.А. Аппаратно-программный комплекс «Inwada» по поиску, передаче и хранению гидрометеорологической информации в целях фонового прогнозирования опасных гидрологических явлений // Естеств. и технич. науки, 2009, № 6, с. 258-270.
- Кузьмин В.А. Оценка влажности водосбора по данным дистанционного зондирования, наземных гидрометрических наблюдений и математического моделирования стока // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 45-57.
- Кузьмин В.А. О возможности повышения заблаговременности прогнозов стока средних рек путем стыковки гидродинамических моделей погоды и гидрологических моделей // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 16, с. 22-27.
- Кузьмин В.А. Основные принципы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования дождевых паводков // Метеорол. и гидрол., 2009, № 6, с. 74-85.
- Кузьмин В.А. Постобработка и корректировка прогнозов паводков, выпускаемых при помощи автоматизированных систем // Метеорол. и гидрол., 2009, № 8, с. 80-90.

- Кузьмин В.А.* Принципы автоматической обработки данных в автоматизированных системах прогнозирования стока // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 28-37.
- Кузьмин В.А.* Фоновое прогнозирование стока в режиме, близком к реальному времени // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 38-44.
- Guide to Hydrological Practices. Fifth edition [Text] / World Meteorological Organization, Geneva, WMO No. 168, 1994. – 739 p.
- Burnash, R.J.C.*, 1973. Technical Report: A generalized streamflow simulation system – conceptual modeling for digital computers [Text] / R.J.C. Burnash, R.L. Ferral, McGuire R.A. // Joint Federal and State River Forecast Center. US NWS and California DWR, Sacramento, CA. – 204 p.
- Barrett, D.* Improved stream flow forecasting by coupling satellite observations, in situ data and catchment models using data assimilation methods [Text] / Barrett, D., Kuzmin, V., Walker, J., McVicar, T. Draper, C. // eWater CRC Technical Report., 2008. – 77 p.
- 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.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.2.1 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (проект № 14.В37.21.1267 от 1 ноября 2012 г.).