

Д.В. Соколова, В.А. Кузьмин, М.В. Симаховская

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «MLCM2» ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ НА МАЛЫХ И СРЕДНИХ ВОДОСБОРАХ

D.V. Sokolova, V.A. Kuzmin, M.V. Simanovskaya

THE SOFTWARE «MLCM2» FOR FORECASTING RAIN FLOODS ON SMALL AND MEDIUM-SIZED WATERSHEDS

В статье рассматривается 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. Данное ПО обладает значительным потенциалом для дальнейшего совершенствования.

Ключевые слова: прогнозирование, гидрологическая модель MLCM2, программное обеспечение, данные, малый водосбор, 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 streamflow 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. This software has a significant potential for further improvement.

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

Введение

Точное и своевременное прогнозирование дождевых паводков, является одной из наиболее актуальных задач, стоящих перед международным гидрологическим сообществом. В условиях изменяющегося климата и переменной антропогенной нагрузки на речные водосборы, а также из-за низкой плотности сети станций гидрометеорологического мониторинга, расчеты и прогнозирование речного стока с использованием существующих традиционных методов становятся малоэффективными. В частности, это происходит из-за нарушения статистических связей между стоком и стокообразующими факторами. Особую сложность представляет моделирование и прогнозирование дождевых паводков при сравнительно невысокой пространственно-временной дискретности наземных гидрометеорологических наблюдений.

С точки зрения качества и/или пространственно-временной дискретности собираемых на их водосборах метеорологических или гидрологических данных, а также их

пригодности для точного и своевременного прогнозирования паводков, большинство рек, протекающих в Российской Федерации, могут быть отнесены к категории малоизученных. 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].

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.

Концептуальная гидрологическая модель MLCM2

Гидрологическая модель MLCM2 (от англ. «Multi-Layer Conceptual Model, version 2» — многослойная концептуальная модель, вторая версия) является моделью типа «осадки – сток» с гибкой структурой и высоким уровнем концептуализации. С технической точки зрения, при выполнении калибровки (параметризации) модели ее можно легко свести как к сравнительно простым моделям водосбора или руслового стока, так и к более сложным гидрогеологическим моделям, учитывающим гидравлические свойства почвогрунтов рассматриваемого водосбора.

Процедура моделирования стока состоит из двух основных функциональных элементов:

1. Формирование «входа» гидрологической модели MLCM2 может быть сделано как в ручном, так и в автоматическом режиме, путём использования данных наземных наблюдений или же посредством интегрирования данных дистанционного зондирования и «выхода» численных моделей погоды. В последнем случае (при прогнозировании стока с малоизученных в метеорологическом отношении водосборов) эти данные проходят процедуру усвоения с использованием сравнительно разрозненных наземных наблюдений.

Автоматическое формирование «входа» гидрологической модели MLCM2 выполняется при помощи специального программного обеспечения. Обязательными являются оперативные данные о сумме осадков с дискретностью 1 ч, 6 ч, 12 ч или 1 сутки, получаемые, например, наземной сетью Росгидромета или локальными (отраслевыми, корпоративными, частными и т.д.) сетями наблюдений потребителя прогностической информации (например, ОАО «Российские железные дороги»). При отсутствии таковых, цели фоновое прогнозирования стока могут быть вполне удовлетворительно достигнуты путем использования в качестве входных данных модели MLCM2 «выходных» данных мезомасштабной синоптической модели WRF. Кроме того, нужны данные о полном испарении (эвапотранспирации) [1].

2. Настройка и непосредственное использование модели MLCM2: Автоматическая калибровка гидрологической модели MLCM2 выполняется при помощи

специально разработанного для этой цели оптимизационного алгоритма, который будет рассмотрен ниже. При необходимости крупные и средние водосборы разбиваются на более мелкие частные водосборы, однако индивидуальная калибровка модели для таких водосборов не выполняется. Тем не менее, процедура разбиения исходного водосбора на более мелкие все равно имеет смысл, если для каждого из них могут быть заданы «входные» осадки и имеется схема стекания воды по русловой сети к замыкающему створу. Для калибровки гидрологической модели MLCM2 необходимы синхронные массивы данных об осадках, стоке и полном испарении (по возможности, за разнообразные по водности годы). После калибровки выполняется валидация найденных параметров. Важно подчеркнуть, что для калибровки и валидации целесообразно использовать различные виды целевой функции [2].

Описание принципов работы программного обеспечения «MLCM2.v2»

На рис. 1 и 2 представлен пользовательский интерфейс ПО «MLCM2.v2». Данная программа была написана на языке программирования C++ и является на данной стадии настольной.

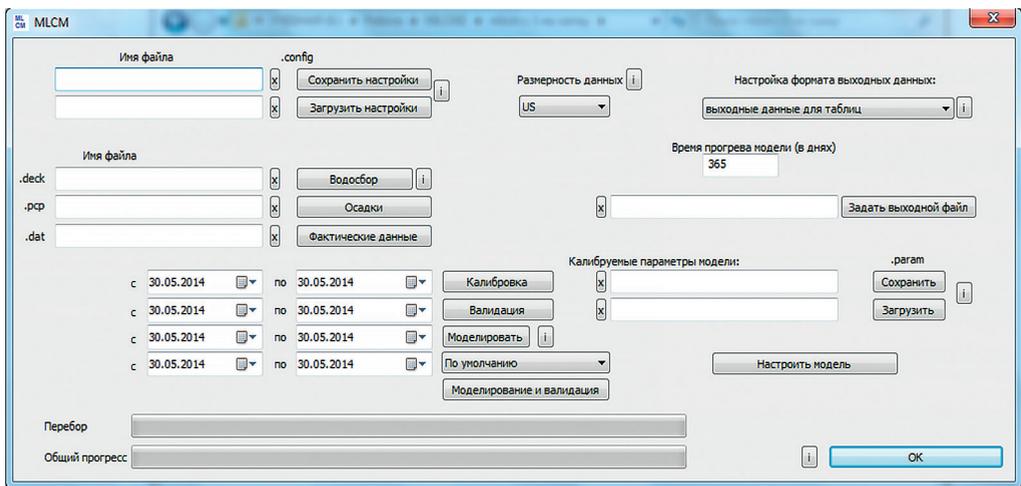


Рис. 1. Интерфейс программного обеспечения «MLCM2.v2»

Программа «MLCM2.exe» работает под управлением операционной системы Microsoft Windows 7 или Microsoft Windows 8. После запуска исполняемого файла «MLCM2.exe» выполняются следующие функции:

- считывание файла настроек;
- калибровка модели;
- моделирование гидрографа за указанный пользователем период;
- экспорт полученной информации.

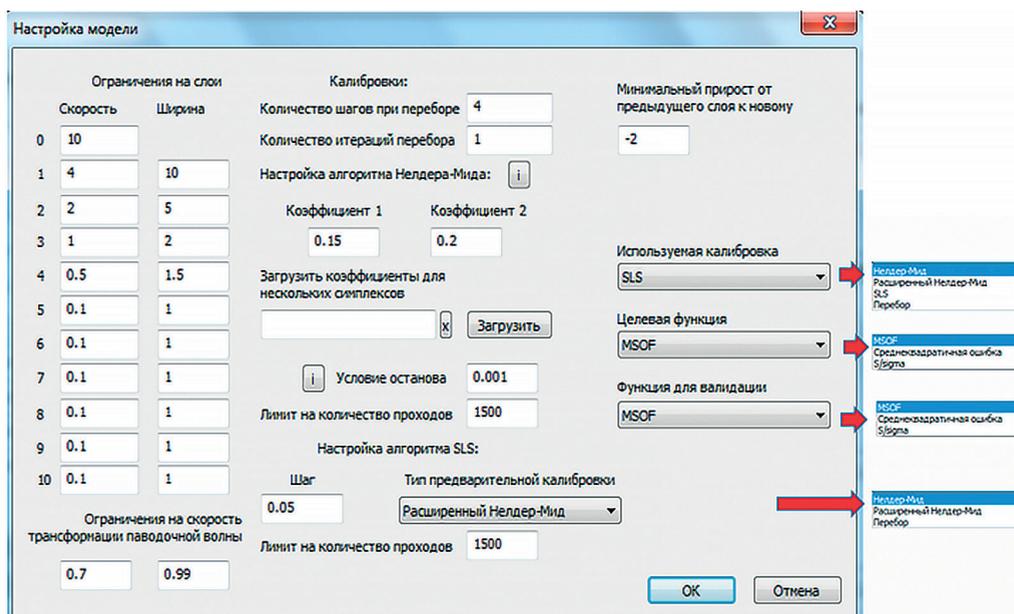


Рис. 2. Интерфейс программного обеспечения «MLCM2.v2»: настройки модели

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

- данные о стоке в формате TXT;
- данные о полном испарении в формате TXT;
- морфометрические характеристики водосбора в формате CSV.

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

«MLCM2.v2» является программным обеспечением, обладающим такими ключевыми опциями оперативной гидрологической модели, как оптимизация параметров (калибровка) и валидация. ПО «MLCM2.v2» по своим характеристикам соответствует требованиям ВМО.

Для решения проблемы параметризации моделей в ПО используется способ квазилокальной оптимизации в физически predetermined районе области определения целевой функции — SLS (от англ. «Stepwise Line Search» — пошаговый линейный поиск, являющийся разновидностью шаблонной оптимизации). Базовый алгоритм имеет несколько модификаций, разработанных для калибровки прогностических моделей, применяемых для прогнозирования стока в различных условиях. Кроме того, он является функциональной основой для постобработки прогнозов (то есть уточнения прогнозируемых переменных, полученных на «выходе» модели вне этой модели); таким образом, метод SLS служит удобным интегральным инструментом, применяемым для учета всех видов неопределенности («шумов»), влияющей на результаты

моделирования. Метод SLS является наиболее подходящим в случаях, если априорная (начальная) точка при квазилокальной оптимизации задана корректно, а водосбор достаточно хорошо освещен гидрометеорологическими наблюдениями [4].

Кроме того, в распоряжении пользователя имеется оптимизационный метод Нелдера-Мида (или симплекс-метод), который основывается на использовании техники нелинейной оптимизации (это вычислительный метод, применяемый для дважды дифференцированных и унимодальных задач). Алгоритм был предложен Джоном Нелдером и Роджером Мидом в 1965 г., и представляет собой технику минимизации объектной функции в многомерном пространстве. Метод использует понятие симплекса, то есть выпуклого многогранника с $N+1$ вершиной в N -мерном пространстве. Данный метод определяет поведение функции в нескольких тестовых точках. Затем одна тестовая точка заменяется на новую, и процесс повторяется. Простейший шаг заключается в замене наименее подходящей точке другой, которая отражена через центр масс остальных N точек. Если она подходит больше, то мы пробуем экстраполировать значения экспоненциально вдоль линии. Если же новая точка ненамного лучше предыдущей, мы движемся пошагово в окрестности минимума, таким образом, уменьшая симплекс до лучшей точки. Суть метода заключается в последовательном перемещении и деформировании симплекса вокруг точки экстремума [5].

В предлагаемом ПО можно произвести полную настройку параметров модели (см. рис. 1, 2). Пользователь может выбрать один из четырёх методов калибровки: метод SLS, случайный перебор, осуществляемый при помощи встроенного генератора случайных чисел, метод Нелдера-Мида и расширенный метод Нелдера-Мида.

Также у пользователя есть возможность выбрать вид целевой функции для калибровки и валидации. В настоящее время пользователь может выбрать один из трёх вариантов: среднеквадратическая ошибка, критерий S/σ и мультимасштабная целевая функция MSOF.

Основными конструктивными и технологическими особенностями разработанного ПО являются:

- высокая прогностическая эффективность прогнозирования стока на основе модели MLCM2;
- возможность использования разработанной технологии для эффективного фоновое прогнозирования стока на неизученных и малоизученных реках;
- усовершенствованная версия разработанной в РГГМУ модели MLCM2, которая может быть использована как для интерактивного, так и для полностью автоматизированного прогнозирования стока;
- калибровка и валидация модели MLCM2 выполняются в полностью автоматизированном режиме;
- ПО «MLCM2.v2» может быть использовано для интерактивного и для полностью автоматизированного прогнозирования стока;
- программа позволяет получить сопоставимые результаты моделирования стока при более низком уровне обеспеченности исходными данными;
- существующее ПО «MLCM.v2» может использоваться для прогнозирования паводков на неизученных и малоизученных водосборах. Данное ПО обладает значительным потенциалом для дальнейшего совершенствования и коммерциализации.

В настоящее время данная версия программы требует доработки и внесения существенных изменений. Это необходимо для дальнейшего улучшения и развития данного ПО, так как эта версия является настольной, другими словами её надо скачивать, каждое обновление надо закачивать вручную и это не является удобным. Сейчас идёт разработка и написание новой версии данного программного обеспечения «MLCM2.v3» при помощи выпускника гидрологического факультета. Данное улучшение будет произведено при помощи web-реализации программы. Программа будет так называемой «облачной» и обладать в дальнейшем рядом как очевидных преимуществ, так и новыми функциями полезными для индивидуальных потребителей гидрометеорологической информации.

Данное изменение позволит сделать удобную графическую реализацию комплексных графиков в программе. Так же смогут быть добавлены дополнительные опции для вывода прогностических ошибок. Увеличится удобство в использовании программы, произойдёт ускорение выполнения исследований. Рядовому пользователю не будет нужно следить за обновлениями, так как будет произведена web-реализация программного обеспечения, при которой все обновления устанавливаются автоматически, что является современным и удобным.

За счёт web-реализации будет улучшена совместимость ПО с различными операционными системами помимо Windows, что так же должно учитываться в наше время. Из-за web-реализации программного обеспечения «MLCM2.v2» произойдёт повышение его конкурентоспособности в мире.

Литература

1. *Кузьмин В.А.* Основные принципы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования дождевых паводков. // *Метеорология и гидрология*, 2009, № 6, с. 92–104.
2. *Кузьмин В.А.* Алгоритмы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования паводков. // *Метеорология и гидрология*, 2009, № 7, с. 74–85.
3. *Кузьмин В.А., Полякова А.А., Ерёмкина С.В., Гаврилов И.С., Рошет Н.А.* Автоматизированное прогнозирование опасных гидрологических явлений на малоизученных и неизученных водосборах Российской Федерации. // *Учёные записки РГГМУ*, 2013, № 29, с. 29–35.
4. *Кузьмин В.А., Сурков А.Г., Шеманаев К.В.* Принципы автоматической обработки данных в автоматизированных системах прогнозирования стока. // *Учёные записки РГГМУ*, 2011, № 22, с. 28–37.
5. *Guide to Hydrological Practices. Volume II: Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices.* WMO-No. 168. — WMO, Geneva, 2009. — 302 p.