

УДК 556.16:556.072

**\* ПРИМЕНЕНИЕ ИМК ЕСОМАГ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
СТОКА ВОДЫ С РАЗЛИЧНЫХ ПО ПЛОЩАДИ  
ВОДОСБОРОВ**

© 2011 г. **Е.Н. Антохина, В.А. Жук**

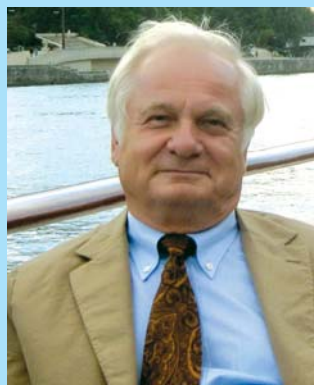
*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва*

**Ключевые слова:** моделирование гидрографа, цифровая модель рельефа, схематизация водосбора, элементарные водосборы, проверка соответствия.

Методы математического моделирования гидрологического цикла применены для расчетов гидрографов стока рек в бассейне р. Оки. Оценена эффективность расчетов стока при различной информационной обеспеченности модели формирования стока.



**Е.Н. Антохина**



**В.А. Жук**

Формирование речного стока представляет собой чрезвычайно сложный многофакторный процесс, обусловленный взаимодействием большого числа элементарных процессов. В связи с этим, важную роль в описании взаимодействия основных процессов стокообразования приобрело математическое моделирование, позволяющее количественно воспроизводить основные физические закономерности формирования

\* Исследование выполнено при поддержке гранта Президента РФ для поддержки молодых ученых МК-7722.2010.5

стока на основе теоретических представлений и обобщения экспериментальных данных.

В настоящее время в отечественной и зарубежной практике используется большое число математических моделей, описывающих формирование речного стока с разной степенью детальности. Выбор той или иной модели для решения конкретной задачи — далеко не простое дело. Часто решающим фактором такого выбора, наряду с целью исследования, выступает наличие исходной информации.

Наиболее перспективным направлением сегодня следует признать разработку физико-математических моделей полного гидрологического цикла, которые позволяют учитывать пространственную изменчивость основных стокоформирующих процессов. Такие модели позволяют увеличить обоснованность и надежность методов краткосрочных гидрологических прогнозов (в т. ч. экстремальных явлений) и расчетов при водохозяйственном проектировании и управлении водными ресурсами, расширяют возможности более глубокого изучения сложных взаимосвязей в механизме стокообразования на водосборе, позволяют количественно оценить изменения стока в связи с возможными изменениями климата и в результате антропогенного воздействия в бассейне (создание прудов и водохранилищ, вырубка и посадка лесов, осушение болот, откачка грунтовых вод, изменение схем землепользования в бассейне и др.), оценить влияние сбросов загрязняющих веществ в речную сеть на качество водных ресурсов и др. Однако, для практической реализации подобных моделей требуется очень большой объем информации, в т. ч. картометрической, различных баз данных физико-географической, гидрологической, метеорологической и агрофизической информации. Обеспеченность модели необходимой информацией определяет возможность ее использования при решении конкретных задач. Особенно это важно в задачах, связанных с краткосрочным прогнозированием гидрографов стока, когда оперативная метеорологическая информация очень ограничена, а требования к точности гидрологических прогнозов довольно высоки.

В последние два десятилетия, в практике моделирования стока рек стали широко использоваться современные средства пространственного представления поверхности водосборов и информационного обеспечения моделей (Интернет, ГИС — географические информационные системы, данные дистанционного зондирования Земли высокого разрешения), что привело к образованию новых моделирующих структур — интегрированных информационно-моделирующих систем (ИИМС) [1, 2], позволяющих существенно снизить трудоемкость процессов моделирования стока, особенно для средних и больших рек. Они включают в се-

бя пространственно распределенные гидрологические модели и их программное обеспечение, ГИС, базы различных данных и системы управления ими.

К подобным программным продуктам относится разработанный Ю.Г. Мотовиловым информационно-моделирующий комплекс (ИМК) ЕСОМАГ (ECOLOGICAL Model for Applied Geophysics, 1999 г.), предназначенный для расчетов гидрологического режима рек и загрязненности территории на различных участках бассейна, с учетом особенностей рельефа, гидрографической сети, пространственного размещения типов почв, растительности, источников загрязнений и гидрометеорологической обстановки [3].

Гидрологический блок программного комплекса включает все основные процессы, определяющие сток с водосбора: поступление воды на поверхность водосбора, инфильтрацию, испарение, термический и водный режимы почв, формирование снежного покрова и снеготаяние, формирование поверхностного, внутрипочвенного, грунтового и общего речного стока. Все процессы рассматриваются с учетом их пространственной изменчивости. Моделирование гидрологических процессов на каждом выделенном ландшафтном элементе выполняется для четырех уровней: емкости в зоне формирования поверхностного стока, для верхнего слоя почвы (горизонт А), подстилающего его более глубокого слоя (горизонт В), и емкости грунтовых вод. Программный комплекс содержит также стохастическую модель, которая, при необходимости, может обеспечивать гидрологический блок метеорологической информацией.

Базы данных комплекса включают гидрометеорологические данные, информацию о характеристиках почв, землепользования, вегетации и информацию об антропогенной нагрузке на территорию.

В комплексе реализован оригинальный способ пространственной схематизации речного бассейна на основе электронных карт территории с помощью ГИС-технологий, обеспечивающий учет основных физико-географических, почвенных и топографических особенностей бассейна.

К настоящему времени уже накопился опыт использования данного комплекса для решения одной из прикладных гидрологических задач — расчета и прогноза притока воды к крупным водохранилищам Волжско-Камского бассейна и некоторых других водохранилищ на реках России с большими размерами водосборных площадей — более 300 тыс. км<sup>2</sup> [4].

В нашем исследовании ставится задача оценить возможности моделирования стока рек с меньшими водосборными площадями и при различной информационной обеспеченности программного комплекса. Актуальность исследования определяется сокращением (в разы) сети стан-

ций гидрометеорологического мониторинга. Расчеты выполнены для рек бассейна Оки с водосборами от 300 до 99 000 км<sup>2</sup>.

Рассматриваемая территория расположена в пределах центрально-европейской части России. Район охватывает бассейн р. Оки от истока до с. Половское. В этой части бассейна сохранилась сравнительно развитая сеть станций гидрометеорологических наблюдений. Моделирование гидрографов стока выполнено для 10 гидрологических постов (рис. 1), замыкающих различную водосборную площадь.

Алгоритм решения задачи моделирования гидрографа стока, включает следующие этапы:

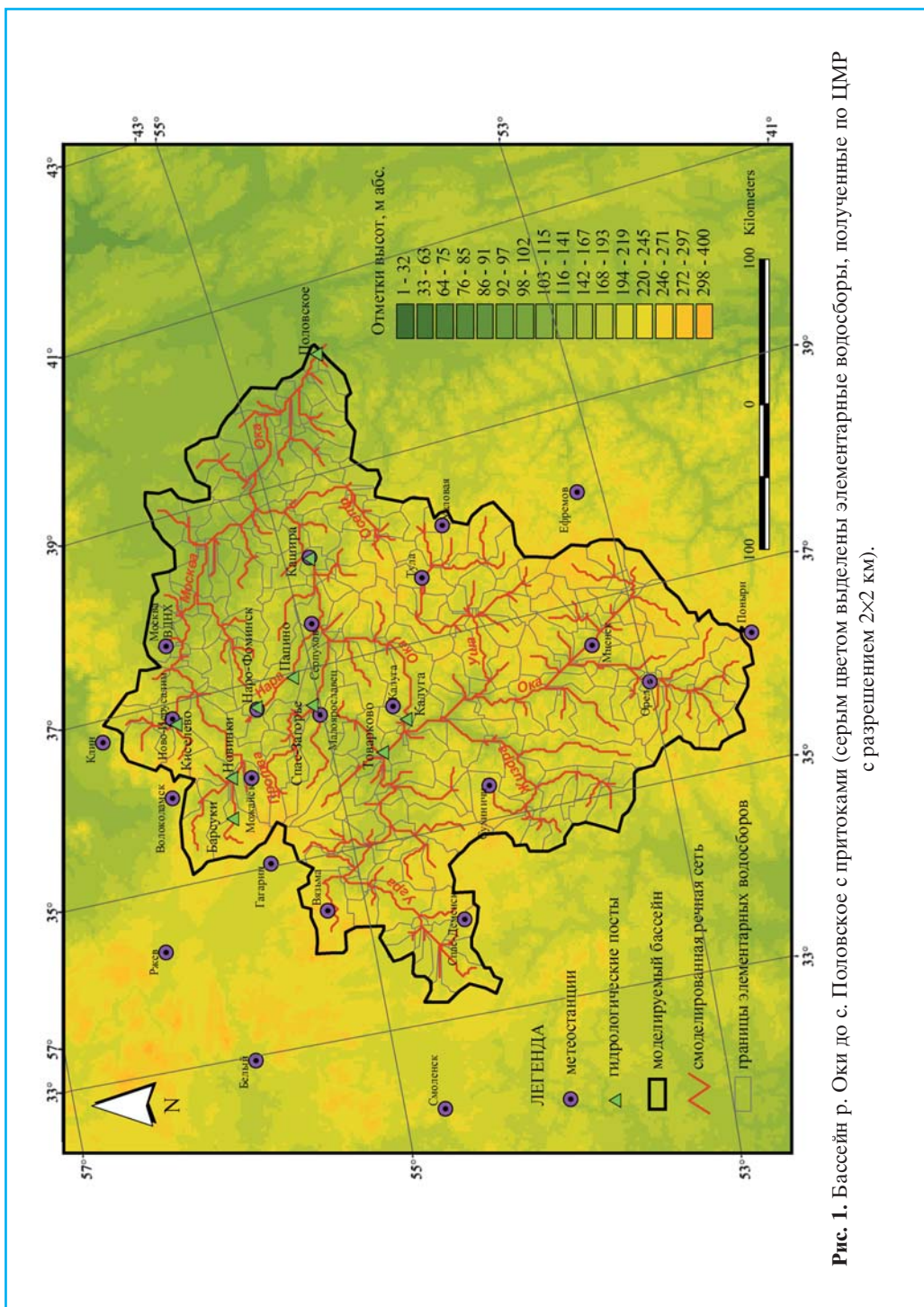
- подготовка и ввод тематических баз данных для исследуемой территории;
- построение цифровой модели рельефа (ЦМР) и гидрографической сети бассейна по спутниковым данным;
- разделение бассейна на элементарные водосборы;
- оценка параметров модели;
- расчеты гидрографов;
- оценка эффективности моделирования.

При необходимости производится корректировка параметров модели.

В качестве исходной информации при формировании баз данных для комплекса ЕСОМАГ использовались картографические материалы:

- цифровая модель рельефа с разрешением 2×2 км, полученная по результатам радарной топографической съемки (SRTM) поверхности Земли, выполненной в 2000 г. и доступной в Интернете [5];
- цифровая модель рельефа с разрешением 50×50 м, построенная в комплексе ArcGis с использованием оцифрованных топографических карт масштаба 1:50 000;
- электронные тематические карты (почвенная карта масштабов 1:2 500 000 и 1:500 000, карты использования земель масштабов 1:1 000 000 и 1:200 000) [6, 7, 8];
- картосхемы гидрографической сети бассейна, схема расположения гидрологических и метеорологических пунктов наблюдений.

На первом этапе расчеты гидрографов стока рек в бассейне р. Оки выполнены при использовании цифровой модели рельефа, построенной по данным с разрешением 2×2 км. По данной цифровой модели рельефа в программном комплексе ArcView подготавливается общий для бассейна GRID-поверхности, на основе которого автоматически моделируются речная сеть, с помощью специального модуля ЕСОМАГ. Для каждого сегмента модельной речной сети выделяются элементарные водосборы, т. е. расчетные элементы модели, которые представляют собой об-



ласти аккумуляции стока между узлами речной сети. Для каждого элементарного водосбора с соответствующих карт считывается информация о типах почв и ландшафтов, а необходимые для расчетов характеристики почв и ландшафтов усредняются с учетом весовых коэффициентов занимаемой ими площади [9, 10]. После схематизации водосборных площадей общее количество элементарных водосборов в бассейне р. Оки до с. Половское составило 289 со средней площадью 346 км<sup>2</sup> (см. рис. 1).

В дальнейшем, для улучшения качества моделирования стока с малых водосборных площадей, в верховьях бассейна р. Москвы (общая площадь водосбора 7550 км<sup>2</sup>), строилась более детальная цифровая модель рельефа с разрешением 50×50 м и использовались более подробные почвенная и карта использования земель. В бассейне р. Москвы до Рублевского гидроузла при использовании ЦМР с сеткой 2×2 км выделяется 21 элементарный водосбор, а с сеткой 50×50 м — 514.

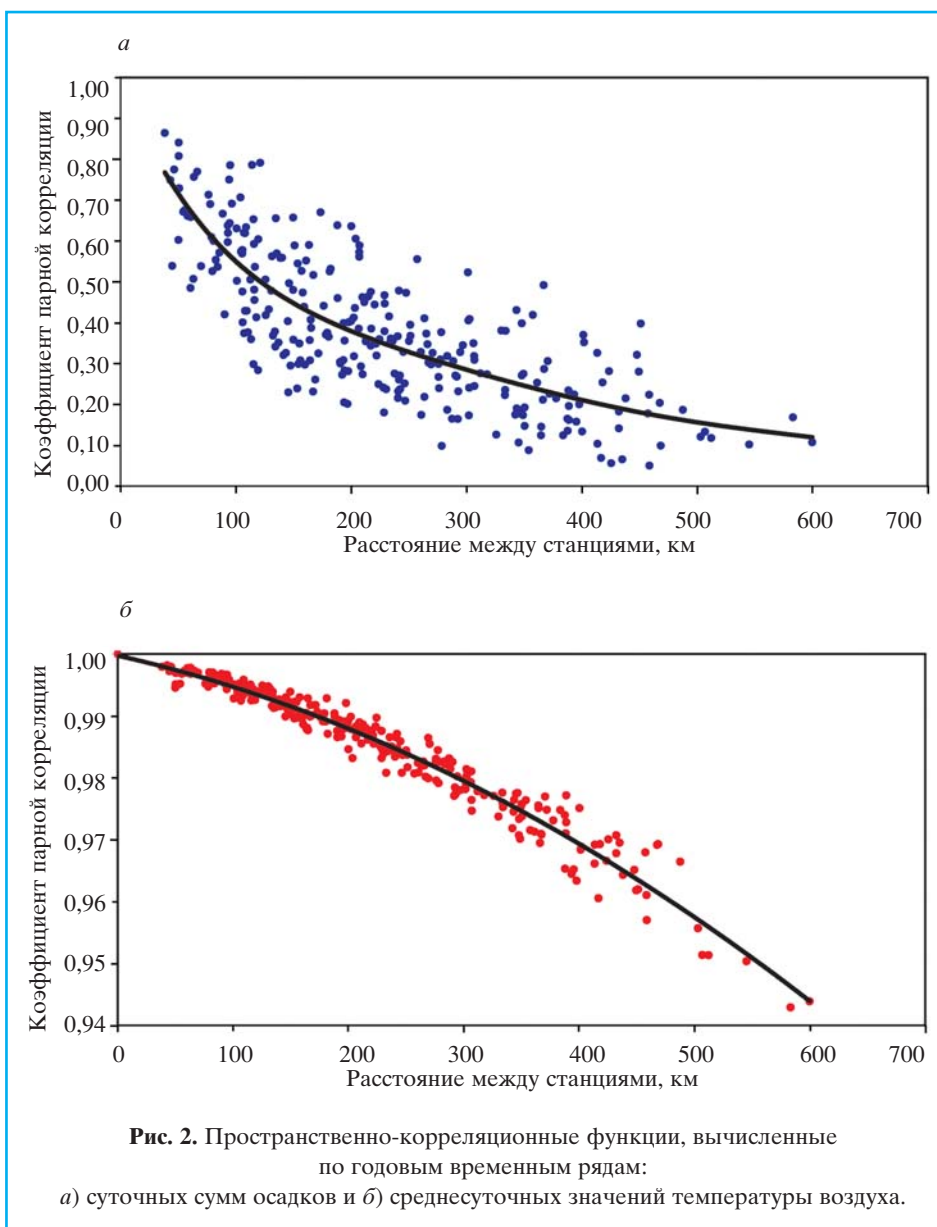
В качестве входной информации при моделировании стока привлекались сведения о суточных осадках, температуре и дефиците влажности воздуха на 25 метеорологических станциях, расположенных на водосборе р. Оки и в непосредственной близости от него (см. рис. 1).

Для оценки репрезентативности метеорологических данных используемой сети станций построены пространственно-корреляционные функции ежегодных суточных сумм осадков и среднесуточных значений температуры воздуха. Установлено, что выбранный состав станций хорошо представляет поле суточных температур воздуха (коэффициенты парной корреляции температуры воздуха на разных станциях  $r \geq 0,90$ ) и является недостаточным для интерполяции суточных сумм осадков (за зимний период коэффициент корреляции изменяется в пределах  $r = 0,20—0,92$ , летний —  $r = 0,05—0,85$ ) (рис. 2). Радиус корреляции поля осадков (при  $r = 0,80$ ), составляет 40 км.

При моделировании стока малых рек в бассейне р. Москвы, с использованием более подробной ЦМР, использовались данные наблюдений той же сети метеорологических станций.

Дальше следовала процедура автоматической интерполяции метеорологических характеристик для каждого элементарного водосбора. Данные наблюдений пяти ближайших метеорологических станций интерполировались в центр водосбора с учетом расстояния и разницы высот между водосбором и станциями. При расчете весовых коэффициентов бралась обратная величина квадрата расстояния между центром элементарного водосбора и метеостанцией и разница их высот [3].

Проверка точности моделирования гидрографов рек при различных площадях водосборов и с различной детализацией рельефа выполнена



по данным о ежедневных расходах воды на 10 гидрологических постах (г/п) (табл. 1) за периоды 1980—1988 и 2001—2004 гг.

В рассматриваемой модели, как и в любой другой математической модели формирования стока, присутствует целый ряд параметров, призванных отображать объективные характеристики водосборов. Большая их часть имеет конкретный физический смысл и достаточно хоро-

Таблица 1. Оценка результатов моделирования

Река	Пост	Среднегодовой расход воды, м <sup>3</sup> /с	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Критерий соответствия для ЦМР с сеткой 2×2 км	Критерий соответствия для ЦМР с сеткой 50×50 м
Ока	с. Половское	508	99 000	0,76	—
Ока	г. Кашира	370	68 700	0,73	—
Ока	г. Калуга	295	54 900	0,77	—
Угра	пос. Товарково	86,0	15 300	0,55	—
Протва	г. Спас-Загорье	19,7	3640	0,47	—
Нара	д. Папино	5,22	971	0,39	—
Москва	д. Барсуки	5,54	775	0,27	0,58
Нара	г. Наро-Фоминск	3,80	665	0,32	—
Искона	д. Новинки	2,67	472	0,21	0,65
Малая Истра	д. Киселево	1,86	280	0,20	0,55

по оценивается в результате анализа физико-географических условий территории, другие определяются по имеющимся базам данных характеристик почв, растительности, морфометрии речных бассейнов или берутся из разных справочников. Для наиболее важных, при необходимости, проводится процедура оптимизации параметров по условию наилучшего соответствия фактических и рассчитанных гидрографов.

Идеальным вариантом при оптимизации параметров является возможность их калибровки по данным наблюдений процессов, в расчетные зависимости которых они входят: по данным снегомерных наблюдений, по измерениям глубины промерзания почвы, ее влажности, по стоку воды с малых водосборов и др. Такая возможность имеется для верхней части бассейна р. Оки и бассейна р. Москвы. Здесь репрезентативными параметрами для модели считаются многие показатели, измеренные на малых экспериментальных водосборах Подмосковной воднобалансовой станции (с. Большое Сареево). Но, к сожалению, в последние годы на станции сокращены или прекращены многие виды полевых работ.

В работе, для рек всей исследуемой территории, первоначально использовался набор параметров, составленный ранее для крупных водосборов равнинной части Европейской территории России [9]. Однако эти параметры для небольших водосборов не всегда приводят к приемлемым результатам моделирования, поэтому нередко приходилось дополнять их частичную оптимизацию.



Опытным путем установлено, что в исследуемом бассейне в основном нуждаются в калибровке, параметры влияющие на объем весеннего половодья и на его режим, — это критическая температура, разделяющая процессы снеготаяния и его накопление; коэффициент стаивания снежного покрова, зависящий от характера подстилающей поверхности; коэффициент испарения с почвы и коэффициент, учитывающий фазу выпадающих в период снеготаяния осадков (жидких и твердых).

Коэффициент стаивания заметно влияет на максимальную величину пика весеннего половодья и время его наступления. При его повышенных значениях происходит увеличение максимального расхода и сдвиг максимума на более ранние сроки. При увеличении критической температуры таяния снежного покрова происходит сдвиг половодья на более поздние сроки. Тип осадков, выпадающих в период снеготаяния, значительно влияет на вид гидрографа. Жидкие осадки повышают интенсивность поступления воды на водосбор и высоту половодья; твердые — увеличивают продолжительность половодья, снижая максимальные расходы. При увеличении коэффициента испарения с почвы сток уменьшается. Этот параметр особенно важен при расчете расходов летне-осенней межени и дождевых паводков.

Несколько слов следует сказать о процедуре проверки качества моделирования гидрографов. Из-за многообразия задач, используемых результатов моделирования, существуют и различные средства проверки соответствия наблюдаемых и смоделированных значений расходов воды — от визуального сравнения до использования различных статистических критериев сходимости гидрографов.

В отечественной практике гидрологических расчетов и долгосрочных прогнозов используется критерий  $\frac{s}{\sigma}$ , где  $s$  — среднеквадратическое отклонение разности фактических ( $Q_{\text{ф}}$ ) и значений стока, полученных по модели ( $Q_p$ ):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{\text{ф}} - Q_p)^2}{n-1}}, \quad (1)$$

а  $\sigma$  — среднеквадратическое отклонение исследуемой величины ( $Q_{\text{ф}}$ ):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{\text{ф}} - \bar{Q})^2}{n-1}}. \quad (2)$$

При краткосрочных прогнозах, величина  $\sigma$  вычисляется с учетом заблаговременности прогноза  $\Delta$ :

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}}, \quad (3)$$

где  $\Delta_i$  — разность между начальным и конечным значениями расходов воды за период заблаговременности прогноза;  $\bar{\Delta}$  — норма этой разности.

При значениях критерия  $\frac{s}{\sigma}$  или  $\frac{s}{\sigma_{\Delta}} \leq 0,80$  результаты моделирова-

ния считаются приемлемыми.

В данной работе для оценки эффективности моделирования гидрографов, за основной, принят используемый в мировой гидрологической практике критерий соответствия Нэша—Сатклифа  $R^2$ :

$$R^2 = \frac{F_0^2 - F^2}{F_0^2}, \quad (4)$$

где  $F_0^2 = \sum_i (Q_i - Q_{cp})^2$ ;

$$F^2 = \sum_i (Q_{i,p} - Q_i)^2$$

$Q_i$  и  $Q_{i,p}$  — соответственно, фактические и рассчитанные по модели расходы воды за  $i$ -е сутки, м<sup>3</sup>/с;

$Q_{cp}$  — средняя величина фактического расхода воды за период расчета, м<sup>3</sup>/с.

Согласно сложившейся практике гидрологических расчетов результаты моделирования гидрографов считаются хорошими при  $R^2 \geq 0,75$  и удовлетворительными при  $0,75 > R^2 \geq 0,35$ . При  $R^2 < 0,35$  результаты расчета считаются неудовлетворительными [3].

На первом этапе моделирования гидрографов стока выполнены многочисленные варианты испытания различных комбинаций параметров за период калибровки модели (1984—1988 и 2001—2002 гг.). В результате, выбран набор параметров, при котором даты начала половодья и гидрографы весеннего половодья на смоделированном и фактическом гидрографах совпадают. На втором этапе — эффективность работы модели проверялась на независимом материале, за период 1981—1983 и 2003—2004 гг.

Результаты моделирования стока для рек с большими площадями водосборов, при использовании ЦМР с разрешением 2×2 км визуально и по критериям соответствия получаются удовлетворительными (см. табл. 1). Хорошо совпадают характеристики половодья (дата наступления и величина максимального расхода, объем половодья), а также зимние меженные расходы воды. На рис. 3, в качестве примеров, изображены результаты моделирования стока р. Оки у с. Половское и у г. Калуга и для р. Москвы у д. Барсуки. Значения температур воздуха и осадки, представленные на этих графиках, получены простым осреднением данных наблюдений на станциях, расположенных в границах моделируемых водосборов.

Для г/п р. Угра — пос. Товарково (площадь водосбора  $F = 15\,300\text{ км}^2$ ) критерий соответствия за 1983 г. составляет 0,60, а осредненный за период независимого расчета (1981—1983, 2003—2004 гг.) — 0,55. Для г/п на р. Оке ( $F > 50\,000\text{ км}^2$ ), результаты моделирования стока значительно лучше, осредненный критерий для них колеблется от 0,73 до 0,77. В табл. 1 отражены результаты моделирования для всех участвующих в расчетах гидрологических постов в бассейне р. Оки.

Расчетные и фактические гидрографы на малых реках, с представлением рельефа с разрешением 2×2 км, имеют значительные расхождения. Среднее значение критерия соответствия за 1981—1983 и 2003—2004 гг. колеблется от 0,20 (р. Малая Истра — д. Киселево) до 0,39 (р. Нара — д. Папино).

Удовлетворительные результаты расчетов стока в бассейне р. Оки получены для 6 створов (см. табл. 1). Для остальных рек, с небольшими площадями водосборов, они оказались неудовлетворительными, в основном из-за слабой детализации рельефа.

Грубая схематизация водосбора и мелкомасштабные карты типов почв и видов использования земель не способны отразить все факторы формирования стока с малых водосборных площадей.

Для оценки влияния размера водосбора реки на качество результатов моделирования гидрографов при использовании мелкомасштабной ЦМР, построена зависимость между критерием соответствия и площадью водосбора (рис. 4). Видно, что при увеличении площади водосбора реки, увеличивается и значение критерия соответствия. Удовлетворительные результаты моделирования достигаются только на реках с площадью водосборов более 5000 км<sup>2</sup>. Для успешного моделирования стока малых рек (площадь водосбора менее 1000 км<sup>2</sup>) следует использовать более подробную съемку рельефа, крупномасштабные карты типов почв и использования земель.

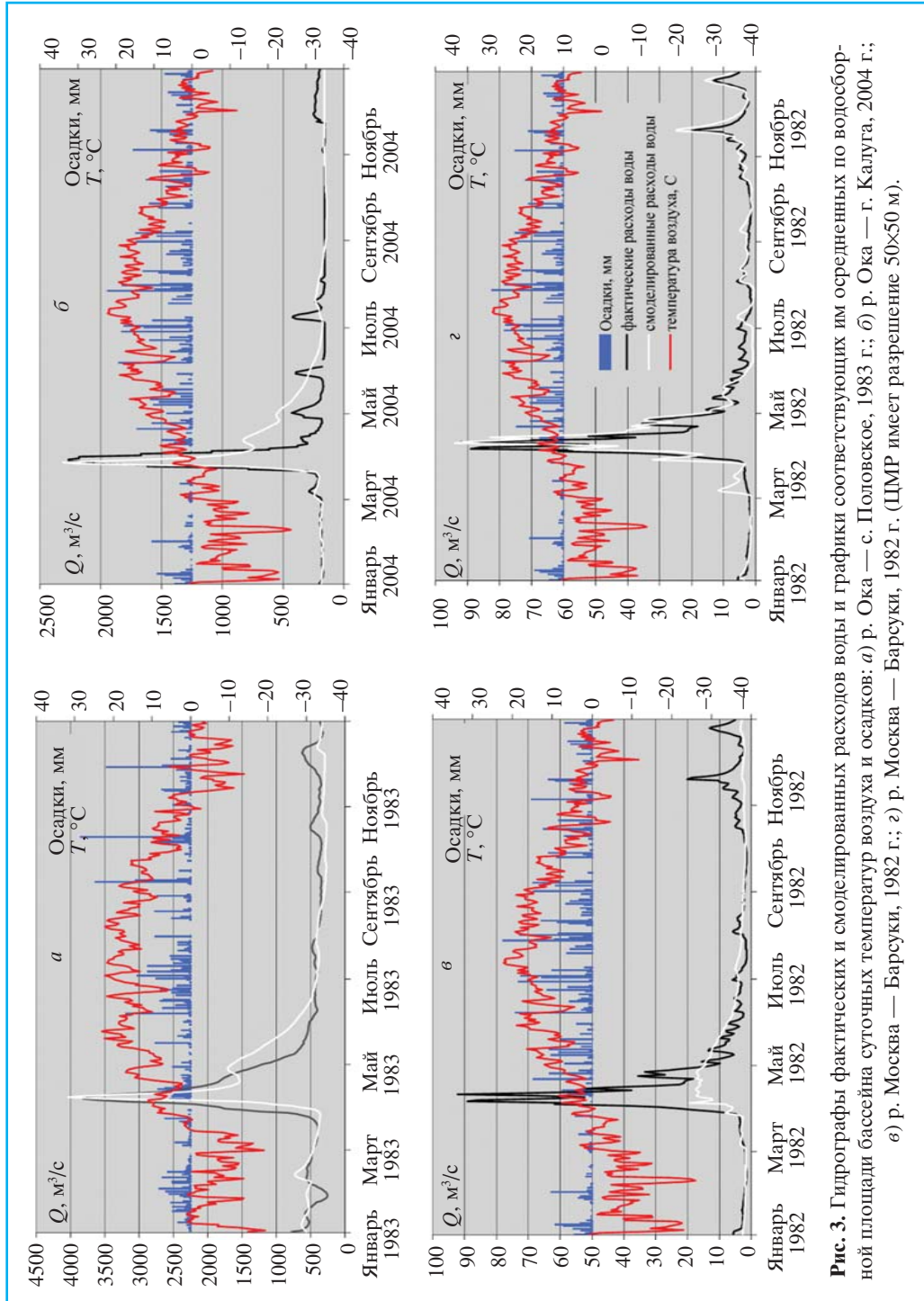
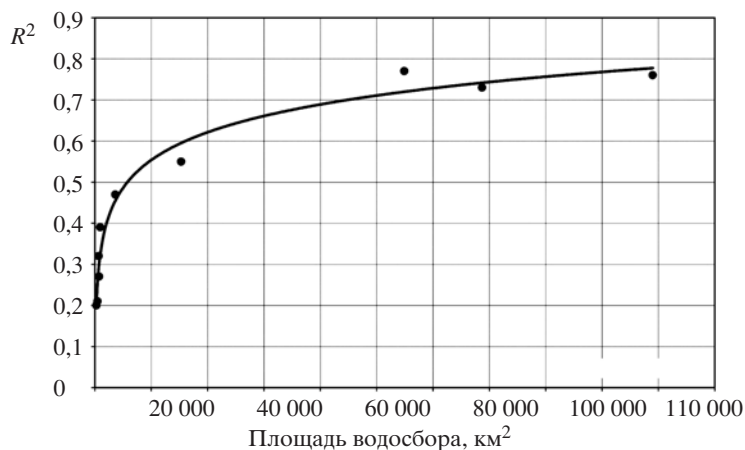


Рис. 3. Гидрографы фактических и смоделированных расходов воды и графики соответствующих им средних по водосборной площади бассейна суточных температур воздуха и осадков: а) р. Ока — с. Половское, 1983 г.; б) р. Ока — г. Калуга, 2004 г.; в) р. Москва — Барсуки, 1982 г.; г) р. Москва — Барсуки, 1982 г. (ЦМР имеет разрешение 50х50 м).



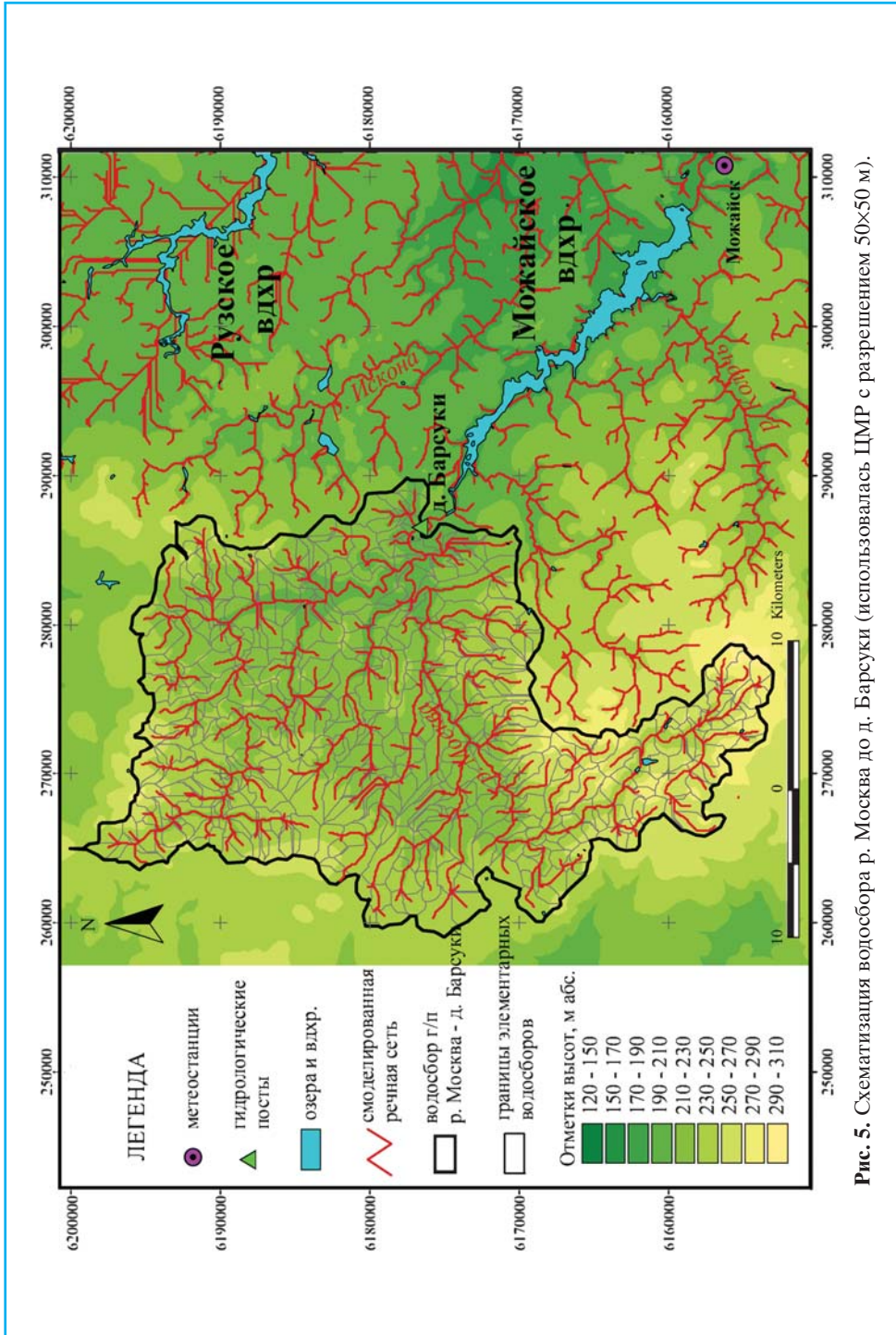
**Рис. 4.** График зависимости критерия соответствия от площади водосбора при моделировании стока на основе ЦМР с пространственным разрешением 2×2 км.

Проверка этих предположений выполнена для верхней части бассейна р. Москвы выше Рублевского гидроузла. Для этого был подготовлен дополнительный вариант расчета на основе ЦМР с разрешением 50×50 м, почвенной карты (1:500 000) и карты использования земель (1:200 000) [6].

В модели, реализованной для р. Оки (с разрешением 2×2 км), на бассейн р. Москвы до п. Рублево приходится 21 элементарный водосбор, а на водосбор до г/п у д. Барсуки — всего 1 элементарный водосбор. При использовании крупномасштабной ЦМР до д. Барсуки выделяется уже 514 элементарных водосборов (рис. 5).

В детализированном варианте модели выполнены расчеты стока для 3 гидрологических постов в бассейне р. Москвы: р. Москва — д. Барсуки, р. Искона — с. Новинки и р. Малая Истра — д. Киселево. Для нового варианта подобраны параметры и выполнен независимый расчет по модели за период 1981—1983 и 2003—2004 гг. Результаты моделирования существенно улучшились. Для поста на р. Москве у д. Барсуки критерий соответствия за 1982 г. увеличился с 0,25 до 0,78 (см. рис. 3 в, г). На гидрографе в теплый период появились дождевые паводки, которые при использовании сетки 2×2 км не проявлялись на этом посту. Аналогичные результаты получены для двух других малых рек — Исконы и Малой Истры (см. табл. 1).

В результате выполненного исследования можно заключить, что программный комплекс ЕСОМАГ позволяет успешно моделировать



сток как крупных, так и малых равнинных рек. Важным при этом является правильный выбор пространственно-временных масштабов описываемых процессов, детализации цифровой модели рельефа, адекватный выбор масштаба тематических карт и учет действующей сети гидрометеорологических станций. В частности, для успешных расчетов дождевого стока на исследуемой территории требуется более густая сеть осадкомерных пунктов (радиус корреляции для суточных сумм жидких осадков равен 40 км). При этом, имеющихся данных о суточных температурах воздуха региона вполне достаточно для успешного моделирования стока (коэффициенты парной корреляции температуры воздуха на разных станциях  $r \leq 0,90$ ).

Перспективы использования программного комплекса следует видеть в использовании оперативных данных современных наземных и дистанционных средств наблюдений гидрометеорологических показателей (радарные измерения интенсивности осадков, аэрокосмическая съемка полей снегозапасов и влажности почвы), и в использовании современных ГИС. Важным также является вопрос установления зависимостей параметров модели и физико-географических условий региона, особенно для слабо изученных территорий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеевский Н.И., Жук В.А., Иванов В.Ю., Фролова Н.Л. Особенности формирования и расчета притока воды к тракту Москворецкого водоисточника // Водные ресурсы. 1998. Т. 25. № 2. С. 146—151.
2. Кучмент Л.С. Речной сток (генезис, моделирование, предвычисление). М.: ИВП РАН, 2008. 394 с.
3. Motovilov Yu.G., Gottschalk L., Engeland K., Belokurov A. ECOMAG — regional model of hydrological cycle / Application to the NOPEX region. Department of Geophysics, University of Oslo, Institute Report Series No. 105, 1999. 211 p.
4. Мотовилов Ю.Г. Информационно-моделирующий комплекс ECOMAG для моделирования речных бассейнов // VI Всероссийский гидрологический съезд: тезисы докл. СПб., 2004. С. 139.
5. Описание и получение данных SRTM // GIS-Lab: Геоинформационные системы и дистанционное зондирование Земли. 14.06.2011. Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/srtm.html#getdata>.
6. Почвенная карта РСФСР. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, ВАСХНИЛ: ГУГК, 1988. 16 с.
7. Почвы Московской области и их использование: в 2 т. Т. 1. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, ГУГК, 2002. 500 с.
8. About the Digital Chart of the World Data Server // The Pennsylvania State University Libraries. Режим доступа: [http://www.maproom.psu.edu/dcw/dcw\\_about.shtml](http://www.maproom.psu.edu/dcw/dcw_about.shtml).
9. Разработка и внедрение в практику ситуационного управления водным фондом математической модели формирования поверхностного стока с водосборных территорий в бассейне р. Волга (модель ECOMAG) // Отчет по НИР / Министерство природ-

ных ресурсов РФ, Государственный институт прикладной экологии, рук. Ю.Г. Мотовилов. М., 2002. 62 с.

10. *Motovilov Yu., Georgiadi A.* Modelling the Changes in Hydrological Cycle Processes for Small and Middle River Basins in Conditions of Permafrost under Climate Change. In *Coupled Models for the Hydrological Cycle / Integrating Atmosphere, Biosphere and Pedosphere*, 2005. 346 p.

**Сведения об авторах:**

Антохина Елена Николаевна, аспирант, кафедра гидрологии суши Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, 109428, Москва, ул. Михайлова, 11, e-mail: frishkavook@mail.ru

Жук Виктор Архипович, к. г. н., доцент, кафедра гидрологии суши Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, тел. (495) 939-15-33, e-mail: vajouk@rambler.ru