



*XI международная научная
конференция
молодых ученых и талантливых студентов*

**Водные ресурсы, экология
и
гидрологическая безопасность**

Сборник трудов



*Организована Учреждением Российской академии наук
Институтом водных проблем РАН ИВПТ РАН)
Кафедрой ЮНЕСКО
«Управление водными ресурсами и экогидрология»*

*при финансовой поддержке Российской академии наук и
Российского фонда фундаментальных исследований*

*15 декабря 2017 г.
Москва, Российская Федерация*

Москва 2018

Сборник трудов

***XI международная научная
конференция
молодых ученых и талантливых студентов***

Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность

**15 декабря 2017 г.
Москва, Российская Федерация**

**Ответственный редактор
доктор географических наук
Н.Н. Митина**

**Материалы к публикации готовил
кандидат географических наук
Б.М. Малашенков**

**Издано при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований**

© ИВП РАН 2018

Москва, ИВП РАН, 2018

Ответственный редактор д.г.н. Н.Н. Митина
Материалы к публикации готовил:
к.г.н. Б.М. Малащенко

**Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность:
сборник трудов XI международной научной конференции молодых
ученых и талантливых студентов. М.: ИВП РАН, 15 декабря 2017 г. /
Отв. ред. Н.Н.Митина. М: ИВП РАН, 2018. – 141 с.**

В сборник включены доклады и выступления участников молодежной международной конференции по вопросам управления, использования, охраны и экологии природных и водных ресурсов. Тексты представлены на русском языке.

Для студентов, аспирантов, преподавателей, исследователей, практиков, всех тех, кто интересуется водными проблемами.

Editorial board:

*Dr. N.N. Mitina, Editor-in-Chief
PhD B.M. Malashenkov, Associate Dean*

Water Problems Institute Russian Academy of Sciences

Water Resources, Ecology, and Hydrological Safety, 11th International Scientific Conference of the Young Scientists and Talented Students. December 15, 2017; 'Water Problems Institute Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; Proceeding of the conference / N.N. Mitina, Editor-in-Chief. Moscow, IWP RAS, 2018. – 141 p.

The proceeding includes reports and presentations of the conference participants and cover the issues of natural and water resources management, using, safety, and ecology. The texts are published in the Russian language. The publication may be interested for students, faculty members, experts, researchers, and all interested in water problems.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВМЕСТНОГО
ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА ECOMAG И
ДВУМЕРНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ STREAM_2D ДЛЯ
ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК НАВОДНЕНИЙ У Г. ВЕЛИКИЙ УСТЬЮГ**

Сазонов А.А.^{1,2}, Беляев Б.М.¹, Крыленко И.Н.^{1,2}

¹*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

²*ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук
Москва, Россия*

Наводнения в России являются одним из самых серьезных природных бедствий, наносящих урон жилым и хозяйственным постройкам, расположенным на пойме рек. Особенно подвержены негативному влиянию вод северные районы, так как на разлив рек в весенне-летний период первостепенное влияние оказывает таяние льда и снега, а также появление ледовых заторов и торосов. Полностью избежать наводнений невозможно, возможно лишь ослабить или предотвратить их негативное воздействие. Чтобы оценить возможный ущерб, выявить возможные зоны затопления, влияние отдельных факторов, воздействующих на реку во время прохождения половодий, всё чаще и активнее применяются методы математического моделирования.

На данном этапе развития прикладной гидрологии имеется тенденция оптимизации взаимодействия различных типов моделей, причем эти модели могут иметь разное пространственное и временное разрешение. В данной статье представлено исследование возможностей совместной работы модели формирования стока ECOMAG (автор Ю.Г. Мотовилов) и двумерной гидродинамической модели STREAM_2D (авторы В.В. Беликов и др.) для оценки характеристик затопления в узле слияния рек Сухоны и Юга. Актуальность работы связана с вопросами гидрологической безопасности г. Великий Устюг, расположенного в узле слияния и многократно подвергавшегося наводнениям стоково-заторного генезиса, последнее из которых наблюдалось в мае 2016 г. и привело к значительным ущербам.

С одной стороны, данный участок достаточно изучен гидрологами, в том числе, в ходе разработки мероприятий по снижению неблагоприятного воздействия вод [1]. Однако покрытие территории гидрологическими постами недостаточно, так пост, измеряющий расход воды, имеется только на р. Сухоне, а на р. Юг он был закрыт в конце 80-ых годов. Одним из возможных решений при недостатке данных наблюдений, а также для наиболее полного и заблаговременного учета всех особенностей формирования половодий на исследуемой территории является применение модели формирования стока. Используемая в работе модель формирования стока ECOMAG показала высокую эффективность при исследованиях стока северных рек, в том числе для бассейна Северной Двины [3; 4].

Для адаптации модели формирования стока р. Северная Двина в районе г. Великий Устюг использовались данные среднесуточных расходов воды по гидрологическим постам д. Каликино, расположенного в 36 км выше узла слияния на р. Сухона (площадь водосбора 49200 км²); п. Гаврино (площадь

водосбора 34800 км², закрыт в 1989 г.). В качестве исходных задавались параметры модели, полученные для всего бассейна р. Северной Двины. Калибровка модели проводилась на основе данных за 1969-1984 гг., верификация – за период 1985-2014 гг. За 1969-1984 гг. (15 лет) в районе г. Великий Устюг из-за образования затора льда наблюдалось три катастрофических подъемов уровня воды на р. Северная Двина, превышающих уровень неблагоприятных явлений. В течение 1985-2014 гг. (30 лет) в районе города было отмечено пять наводнений, при этом в 1998 г. была превышена отметка уровня опасных явлений. Было получено хорошее соответствие смоделированных и наблюдаемых гидрографов по постам р. Сухона – Каликино и р. Юг-Гаврино, определяющих расходы воды у г. Великий Устюг. По итогам калибровки можно заключить, что в 1969-1984 гг. на основе критерия S/б модель с удовлетворительным качеством описывает максимальные расходы воды и объем половодья по постам р. Сухона – д. Каликино, р. Юг – п. Гаврино.

По критерию Нэша-Сатклифа модель дает хорошие результаты для рассматриваемых постов (табл.). За период 1985-2014 гг. по критерию Нэша-Сатклифа хорошие результаты наблюдаются для всех рассматриваемых постов, по критерию S/б - удовлетворительные для Каликино и неудовлетворительные для Гаврино (что связано малой длиной ряда данных).

Таблица. Оценка соответствия фактических и расчетных гидрографов по итогам калибровки и верификации модели в створах р. Сухона – д. Каликино, р. Юг – п. Гаврино

Пост	1969-1984			1985-2014		
	S/б		NSE	S/б		NSE
	Макс. расход	Объем половодья		Макс. расход	Объем половодья	
Каликино	0,59	0,52	0,81	0,62	0,52	0,83
Гаврино	0,47	0,65	0,84	1,15	1,05	0,79

Полученные на основе модели формирования стока расходы воды использовались в качестве верхних граничных условий для двумерной гидродинамической модели STREAM_2D, основанной на численном решении уравнений Сен-Венана в приближении “мелкой воды”.

Область, охватываемая двумерной моделью, включает участки рек Сухона и Юга в узле слияния и р. Малая Северная Двина до г. Котлас, общая протяженность участка моделирования 100 км. Калибровка и верификация модели проводились по данным экспедиционных изысканий лаборатории эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ, данных режимных наблюдений, космических снимков за период половодья и показала хорошее соответствие результатов моделирования данным наблюдений [2].

Для тестирования возможности совместного применения моделей ECOMAG и STREAM_2D на первом этапе моделирование проводилось для

лет с наводнениями преимущественно стокового генезиса. В качестве репрезентативного года был выбран 1981г., так как в этот год не наблюдалось ледового затора, но в то же время наблюдались значительные расходы и уровни воды, мааксимальный расход р. Сухоны составил $5340 \text{ м}^3/\text{с}$. Для сравнения было проведено два расчета по модели STREAM_2D – на основе данных наблюдений гидрологических постов Каликино и Гаврино, и по данным о расходах воды полученным по модели ECOMAG с использованием архивной метеорологической информации (рис. 2а).

Анализ полученных результатов показал, что при расчетах на основе фактической информации о расходах воды модель STREAM_2D хорошо воспроизводит уровни воды у г. Великий Устюг, различие смоделированных и наблюдаемых уровней составляет 10-15 см. Уровень, полученный с помощью совместного использования ECOMAG и STREAM_2D занижен относительно фактического на 0,5 м и смещен по сроку наступления максимума на 1.5 дня, что обусловлено различиями в смоделированных и фактических расходах воды. Данный результат может считаться удовлетворительным для сценарных расчетов, однако требует разработки и применения дополнительных методов корректировки прогнозов для оперативных расчетов. В качестве примера наводнения стоково-заторного генезиса было рассмотрено выдающееся наводнение 1998г. На период ледового затора в гидродинамической модели подключался ледовый блок, позволяющий учесть повышенную шероховатость и снижение пропускной способности русла на участке ледового затора. В 1998г. гидрологический пост Гаврино уже был закрыт, поэтому модель ECOMAG позволила восстановить расходы воды р. Юг. Сравнение смоделированного уровня и фактического показало хорошее соответствие, однако фактический пик половодья несколько больше смоделированного.

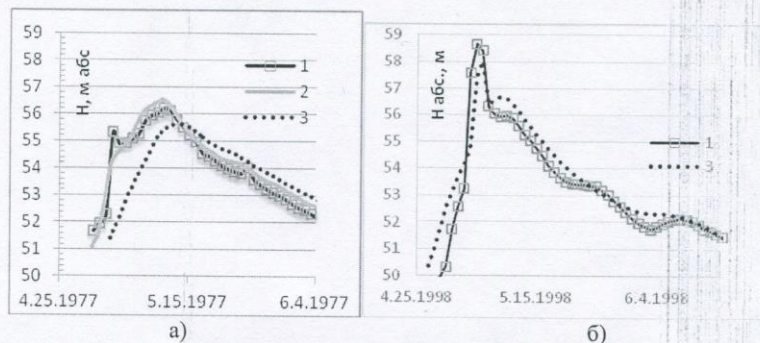


Рис. 1 Уровни воды по в.п. Великий Устюг: 1 – фактический, 2 – смоделированный на основе гидродинамической модели STREAM_2D по фактическим данным о расходах воды, 3 – смоделированный на основе гидродинамической модели STREAM_2D по данным о расходах воды из модели ECOMAG в ходе выдающихся наводнений стокового (а) и стоково-заторного генезиса (б)

Стоит отметить, что совместном применении модели формирования стока и двумерной гидродинамической модели расширяется количество определяемых при моделировании характеристик, определяющих гидрологическую безопасность, включая площадь затопления, среднюю глубину, скорость течения, продолжительность затопления (рис. 2). При этом из приведенных графиков можно заметить, что временной ход средней глубины потока и площади затопления повторяет временной ход уровней воды, поэтому следующей задачей является разработка методики, позволяющей проводить оперативную корректировку расходов и уровней воды для решения прогностических задач.

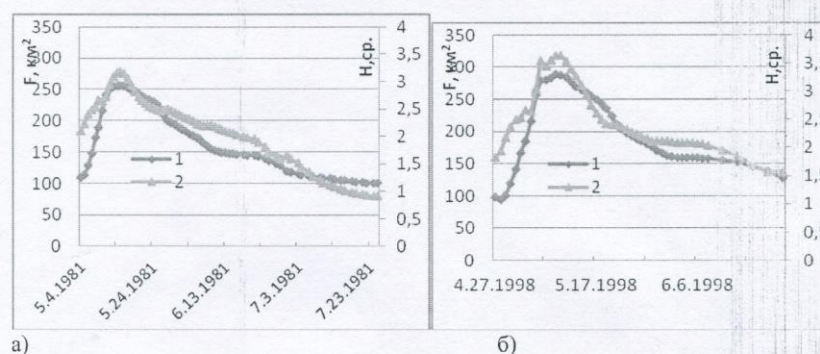


Рис. 2. Временной ход площадей водной поверхности (1) и средних глубин (2) по результатам совместного моделирования на основе моделей ECOMAG и STREAM_2D у г. Великий Устюг в ходе выдающихся наводнений стокового (а) и стоково-затонного генезиса (б)

Благодарности: Верификация модели формирования стока выполнена при поддержке проекта 17-05-41030 РГО-а; моделирование динамики половодий выполнено при поддержке проекта РФФИ № 17-05-01230.

Литература

1. Алабян А.М., Алексеевский Н.И., Евсеева Л.С., Жук В.А., Иванов В.В., Сурков В.В., Фролова, Чалов Р.С. Чернов А.В. Генетический анализ причин весеннего затопления долины Малой Северной Двины в районе г. Великого Устюга // В сб. Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 14. М.: Изд-во МГУ, 2003. С. 105-131.
2. Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Завадский А.С., Крыленко И.Н. Оценка опасности гидрологических явлений на региональном и локальном уровнях // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2014. № 3. С. 58-74.
3. Motovilov Yu.G., Gelfan A.N. Assessing runoff sensitivity to climate change in the Arctic basin: empirical and modelling approaches. IAHS Publications 360, 2013. 105-112.
4. Krylenko I., Motovilov Y., Antokhina E., Zhuk V., Surkova G. Physically-based distributed modelling of river runoff under changing climate conditions. IAHS Publications 368. Pp. 156-161.

СЕКЦИЯ II МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗ ГЛОБАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ		
14.	<i>Белозёров Е.В., Рец Е.П., Киреева М.Б.</i> ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА СТОК РЕК ТЯНЬ-ШАНЯ	50
15.	<i>Курбонов Н.Б.</i> ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ВОДНЫЙ СТОК РЕКИ ЗЕРАВШАН И ЕЕ ПРИТОКОВ	54
16.	<i>Сазонов А.А., Беляев Б.М., Крыленко И.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА <i>ESOMAG</i> И ДВУМЕРНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ <i>STREAM 2D</i> ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК НАВОДНЕНИЙ У Г. ВЕЛИКИЙ УСТЮГ	59
17.	<i>Санин А.Ю., Терский П.Н., Фатхи М.О.</i> ВЛИЯНИЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ И ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИРОДЫ НА ХОЗЯЙСТВЕННУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА	63
18.	<i>Шабанов П.А., Матвеева Т.А., Маркина М.Ю.</i> МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОБЫТИЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ	66
19.	<i>Илич В.П., Киреева М.Б., Сазонов А.А., Михайлюкова П.Г., Харламов М.А.</i> ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАЛОВОДНОГО ПЕРИОДА 2007-2015 ГОДОВ В БАСЕЙНЕ РЕКИ ДОН	69
20.	<i>Езерова Н.Н., Киреева М.Б., Фролова Н.Л.</i> ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ВОДНОГО РЕЖИМА НА ПРИМЕРЕ БАСЕЙНОВ РЕК ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ	71
21.	<i>Мироненко А.А., Фролова Н.Л.</i> СТОК РЕК АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ И ЕГО МНОГОЛЕТНЯЯ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ	74
22.	<i>Караинова М.И.</i> ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГОДОВОГО СТОКА ВОДЫ РЕК СЕВЕРА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО СЕКТОРА РОССИИ	75
23.	<i>Григорьев В.Ю.</i> ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ	80
24.	<i>Чурюлин Е.В., Копейкин В.В., Фролова Н.Л.</i> МОНИТОРИНГ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПО СПУТНИКОВЫМ И МОДЕЛЬНЫМ ДАННЫМ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВОДОСБОРОВ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	82
25.	<i>Санин А.Ю.</i> ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИРОДНЫЕ РИСКИ КАК СДЕРЖИВАЮЩИЙ ФАКТОР ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА	85
26.	<i>Сысоева П.С.</i> ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ	88