Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение
Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук

Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена

ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ: НАУЧНЫЕ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»

к 70-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки, доктора физико-математических наук, профессора Льва Николаевича Карлина

Санкт-Петербург
2017

УДК 551.5+574
ББК 26.23:20.1
Т 78

Т 782

Труды Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы развития». К 70-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки, доктора физико-математических наук, профессора Льва Николаевича Карлина. – СПб.: Аграф +, 2017. – 514 с.

ISBN 978-5-9529-0085-1

В сборнике трудов представлены доклады российских и зарубежных специалистов в области метеорологии, гидрологии, океанологии, экологии, управления морской деятельностью и образования в сфере гидрометеорологии. Особое внимание уделено результатам фундаментальных исследований и их внедрению при решении прикладных проблем, в том числе при разработке технологий мониторинга Мирового океана с целью исследования и освоения его ресурсов, совершенствованию технических средств и методов прогноза гидрометеорологических процессов для управления водными ресурсами и морской деятельностью. Рассмотрены проблемы наращивания потенциала в области образования в сфере гидрометеорологии.

Для научных работников и инженеров, а также широкого круга специалистов, интересующихся гидрометеорологией и экологией. Сборник будет полезен студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

Организаторы конференции:

- Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук
- Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт
- Северо-Западное Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
- Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук
- Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена

При участии:

- Государственного гидрологического института

При поддержке:

- Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга
- Комитета по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга
- Морского совета при Правительстве Санкт-Петербурга

Соорганизатор:

- Государственное бюджетное учреждение «Конгрессно-выставочное бюро Санкт-Петербурга»

Оператор конференции:

- ООО «Инпроэкспо»

Программный комитет конференции: Ашик И.М. (ААНИИ), Бобылев Л.П.(ФОНД "НАНСЕН-ЦЕНТР"), Ерёмина Т.Р.(РГГМУ), Зацепин А.Г.(ИО РАН), Зимин А.В. (ИО РАН), Кондратьев С.А. (ИНОЗ РАН), Малинин В.Н. (РГГМУ), Мамаева М.А. (ГГИ), Плинк Н.Л. (РГГМУ), Родионов А.А. (ИО РАН), Рябченко В.А. (ИО РАН), Третьяков М.В. (ААНИИ), Угрюмов А.И. (РГГМУ), Филатов Н.Н. (ИВПС КарНЦ РАН), Цепелев В.Ю. (Северо-Западное УГМС), Шилин М.Б. (РГГМУ).

ISBN 978-5-9529-0085-1 © Коллектив авторов, 2017

P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences

Federal State Budgetary Institution «Arctic and Antarctic Research Institute»

Federal State Budgetary Institution Northwest Administration
for Hydrometeorology and Environmental Monitoring

Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences

Scientific Foundation «Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre»

PROCEEDINGS
OF THE RUSSIAN NATIONAL CONFERENCE
HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY: SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL ACHIEVEMENTS AND PERSPECTIVES

to the 70-th anniversary of the birth of Lev N. Karlin

Saint-Petersburg
2017

УДК 551.5+574
ББК 26.23:20.1
Т 78

Т 782

Proceedings of the russian national conference “Hydrometeorology and ecology: scientific and educational achievements and perspectives” to the 70-th anniversary of the birth of Lev N. Karlin – СПб.: Аграф +, 2017. – 514 с.

ISBN 978-5-9529-0085-1

The book contains materials of the reports of the russian and foreign experts in the field of meteorology, hydrology, oceanology, ecology, marine management and education in the hydrometeorology. Special attention is given to results of basic research and their implementation for solving applied problems including the development of technologies for monitoring the World Ocean in order to investigate and development of its resources, improvement of technical resources and forecasting methods for hydrometeorological processes for the management of water resources and marine activities. There are considered the problems of building up capability in education in hydrometeorology sphere.

For the researches and engineers, specialized in hydrometeorology and ecology. This book is useful for students and postgraduates of relevant specialties.

Conference Organizers:

- P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences
- Federal State Budgetary Institution "Arctic and Antarctic Research Institute"
- Federal State Budgetary Institution Northwest Administration for Hydrometeorology and Environmental Monitoring
- Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences
- SCIENTIFIC FOUNDATION “NANSEN INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL AND REMOTE SENSING CENTRE”

With the participation:

- Russian Federal State Budgetary Organization “State Hydrological Institute”

Support of the Conference:

- Committee for Nature Use Environmental Protection and Ecological Safety
- Committee for Science and Higher Education
- St. Petersburg Maritime Council

Co-organizer:

- Saint Petersburg Convention Bureau

Conference operator:

- Ltd «InproExpo»

Program committee of the Conference: Ashik I.M. (AARI), Bobilev L.P. (NIERSC), Eremina T.R. (RSHU), Zacepin A.G. (IO RAS), Zimin A.V. (IO RAS), Kondrat'ev S.A. (IL RAS), Malinin V. N. (RSHU), Mamaeva M.A. (SHI), Plink N.L. (RSHU), Rodionov A.A. (IO RAS), Ryabchenko V.A. (IO RAS), Tret'yakov M.V. (AARI), Ugriumov A.I. (RSHU), Filatov N.N. (NWPI KarRC RAS), Cepelev V. Ju. (NW AHEM), Shilin M.B. (RSHU).

ISBN 978-5-9529-0085-1 © Collective of authors, 2017

можно вычислять текущую глубину $z(t)$ и соответствующую ей относительную плотность морской воды $\rho_в(z)/\rho_в^0$, которую путем перемножения с известной константой $\rho_в^0$ можно преобразовать в искомую плотность $\rho_в(z)$ следующим образом:

$$\rho_в(z) = \rho_в^0\{2 - \frac{1}{g}[\ddot{z}(t) + a\dot{z}(t)^2]\}, t \in [t_0, t_f].$$

Таким образом, для решения задачи определения вертикального профиля плотности морской воды за время профилирования требуются данные о текущих значениях вертикальных составляющих скорости и ускорения процесса погружения (всплытия) ныряющего буя. Эти данные могут быть получены при помощи бортовой навигационной системы или измерением скорости и глубины специализированными датчиками. С помощью уравнения (16) с соответствующими начальными условиями можно вычислять относительное и абсолютное значения изменения плотности морской воды в зависимости от глубины. По этим данным с учетом соотношения (2) можно выполнять построение вертикального профиля плотности воды в процессе погружения буя, то есть в реальном времени. Полученные значения плотности как функции глубины можно запоминать в виде массивов в бортовом запоминающем устройстве и транслировать по отрывному кабелю или беспроводному гидроакустическому каналу связи на бортовой компьютер сопровождающего судна или передавать их потребителю через канал спутниковой связи после всплытия автономного ныряющего буя на морскую поверхность.

Верификация моделей и апробация предложенного метода проводились методом моделирования в среде *MATLAB & Simulink* при различных скоростях движения в ней автономного ныряющего буя. При этом использовалась специально разработанная модель стратифицированной по глубине водной среды, модель движения автономного ныряющего буя в этой среде и динамическая модель измерений плотности морской воды с учетом инерционных свойств применяемых датчиков ускорения и гидростатического давления.

Предложенный метод определения плотности морской воды может применяться на автономных и отрывных ныряющих буях (зондах), опускаемых с надводных и подводных судов, для получения данных гидрологического разреза по вертикали.

Литература

1. Шполянский А.Н. Система измерительная гидрологическая. Руководство по эксплуатации СЗМС. СПб: "Гранит-7", 2003.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1991.
3. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. М.: Машиностроение, 2004.

ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ УРОВНЕЙ ВОДЫ

И.Н. Крыленко, А.А. Сазонов, С.А. Агафонова
МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

ASSESSMENT OF GENETIC COMPONENTS OF WATER LEVELS

I.N. Krylenko, A.A. Sazonov, S.A. Agafonova
Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

На примере моделирования половодий у г. Великий Устюг показан подход для оценки вклада генетических составляющих уровней, включая заторную, в изменения уровней воды и проведено сопоставление с классическими методами их оценки.

On the example of floods modeling at Veliky Ustyug, approach for assessment of a contribution of genetic components of water levels, including ice jams, is shown and comparison to classical methods of their assessment is carried out.

Основой для анализа основных характеристик наводнений может послужить концепция выделения генетических составляющих уровней воды, разработанная на кафедре гидрологии суши географического факультета МГУ Н.И. Алексеевским. Комплекс причин, определяющих масштабы затопления территории и вариации уровней воды на участке реки, определяется генетическим уравнением изменений уровней воды, включающем стоковую, заторную, подпорную, деформационную и другие составляющие, где вклад каждого процесса определяется коэффициентом генетической значимости [1].

Основными исходными данными для анализа генетических составляющих уровней воды на участках рек являются ряды наблюдений на гидрологических постах. При однозначной связи расходов и уровней воды на участке реки стоковая составляющая уровней определяется на ее основе. Выявление подпорной составляющей возможно также по простым эмпирическим формулам, позволяющим рассчитать величину и дальность подпора [2] Для оценки вклада заторов льда используются графики $H=f(L, t)$, построенные по данным измерений уровня воды на гидрологических постах и отражающие местные искажения профиля водной поверхности во времени и по длине реки [3]. Изменения уровней воды за счет русловых деформаций выявляют путем сопоставления продольных профилей и материалов батиметрических съемок за многолетний период.

Рассмотрим более детально возможное решение данной задачи на примере оценки генетических составляющих уровней воды, определяющих затопление г. Великий Устюг. Наводнения у г. Великий Устюг, расположенного в узле слияния рек Сухона и Юга имеют смешанный стоково-заторный генезис. Из-за субширотного расположения р. Сухона на всем протяжении вскрывается практически одновременно. Морфологические особенности – крутой поворот русла реки в районе г. Великий Устюг и протяженный перекатный участок р. Малая Северная Двина (перекаты Аристовские, Бобровниковские и Голодаевские) – способствуют практически ежегодному образованию заторов льда. Место образования и мощность весенних заторов льда определяется соотношением объемов и прочности ледового материала и интенсивности нарастания расходов воды. Некоторый вклад в повышение уровней воды у города вносит также подпор р. Сухона со стороны р. Юг, однако по времени он обычно не совпадает с максимальными уровнями воды. Исследования по выявлению причин затопления местности в районе г. Великий Устюг показали [4], что в отдельные годы заторная составляющая может составлять 3-4 м и обусловливать до 50% от заполнения русла водой, подпорная составляющая – 1,5, что может составлять до 40% от общего повышения уровней воды у г. Великий Устюг.

По данным гидрологического поста Великий Устюг, с 1877 по 2016 гг. в узле слияния рек Сухона и Юг произошло 22 наводнения, из них 5 наводнений, включая наводнение 2016 г., превысивших 9 м над «нулем» поста. Одним из выдающихся наводнений, при котором было затоплено более половины города, явилось наводнение 1998 г., похожим по масштабу явилось также наводнение 2016 г. Оба этих наводнения были обусловлены мощными ледовыми заторами в районе г. Великий Устюг.

В данном исследовании предложено возможное развитие подхода выделения генетических составляющих уровней воды с применением методов гидродинамического моделирования [5]. Гидродинамические модели на основе данных о рельефе территории и входных расходах воды позволяют оценить пространственное распределение гидравлических характеристик потока. На основе сценарных расчетов появляется возможность, варьируя расходы воды и подключая отдельные блоки модели (ледовый, блок русловых деформаций), выделить вклад каждой из генетических составляющих уровней воды. Появившаяся с увеличением мощности вычислительной техники возможность моделировать не только ситуации, связанные с прохождением отдельных расходы воды, но и динамику затопления с учетом входных гидрографов, позволяет на настоящем этапе также рассмотреть вклад генетических составляющих уровней воды во временном разрезе.

Для моделирования затопления у г. Великий Устюг использовался программный комплекс STREAM_2D (авт. Беликов и др.) [6], основанный на численном решении уравнений Сен-Венана в приближении “мелкой воды”. Область моделирования включает участки рек Сухона и Юга в узле слияния и р. Малая Северная Двина до г. Котлас, общая протяженность участка моделирования 100 км (рис. 1). 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 показали хорошее соответствие результатов моделирования данным наблюдений. Модель нашла применение для разработки рекомендаций по возможным вариантам мероприятий для снижения неблагоприятного воздействия вод у г. Великий Устюг [7].

Рассмотрим возможности оценки вклада генетических составляющих уровней воды на примере моделирования динамики прохождения катастрофического наводнения 1998 г., как более обеспеченного исходной информацией для моделирования. В качестве входных данных на верхней границе модели по р. Сухона задавались расходы воды по гп Каликино, на нижней границе модели на р. Малая Северная Двина - уровни по гп Котлас. Для задания входных воды по р. Юг в связи с тем, что ближайший к Великому Устюгу пост р. Юг – Гаврино был закрыт в 1989 г., использовались данные более удаленных постов р. Юг – Подосиновец и р. Луза – Красавино, что конечно вносит некоторую погрешность в оценку притока воды к узлу слияния.

При моделировании рассматривался весь период половодья с 29.04.1998 до 30.05.1998. На даты формирования затора с 3.05.1998 по 5.05.1998 в модели учитывались следующие дополнительные факторы: место образования затора и его продолжительность; коэффициент шероховатости льда на участке затора (суммарный коэффициент шероховатости получается сложением этого коэффициента и коэффициента шероховатости открытого потока); уменьшение средней глубины потока за счет заполнения русла льдом. Для воспроизведения моделью заторных уровней 1998 г. на всем протяжении заторных участков коэффициент шероховатости повышался до 0,15, глубина уменьшалась на 2 м.

Наибольшее затопление исследуемой территории наблюдалось в условиях ледового затора 5-6 мая 1998 г. при расходах воды р. Сухона 4370 м^3/с, р. Юг –1500 м^3/с (рис. 1а). В этот период была затоплена значительная часть г. Великий Устюг с глубинами 1,5 – 2,0 м, среднесуточные уровни по посту Великий Устюг достигли отметки 58,67 м БС (933 см над нулем графика поста), что адекватно воспроизводится и по результатам моделирования (рис. 2). Дальнейшее нарастание расходов воды р. Сухона до максимальных значений 5560 м^3/с в сочетании с расходами р. Юг более 2000 м^3/с после прорыва затора обусловило наблюдавшиеся 7–8 мая отметки воды по гп Великий Устюг около 56,0 м БС (670–700 см над нулем графика поста).

Для детальной оценки вклада различных составляющих уровня воды в общее повышение уровней воды у г. Великий Устюг за период половодья 1998 г. были рассмотрены следующие сценарии:

1) прохождение половодья 1998г. с учетом ледового затора;

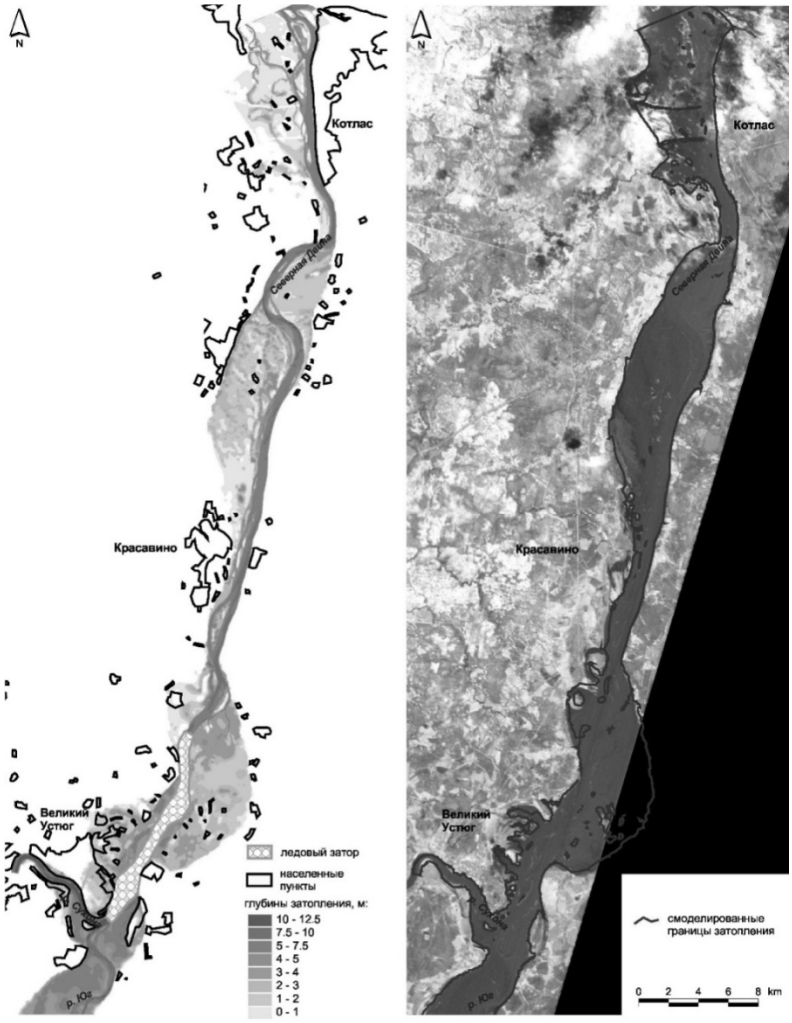
2) прохождение половодья 1998 г. без затора; на входных границах задавались те же расходы воды, что и при моделировании реально наблюдавшегося половодья, но блок моделирования ледовых заторов не подключался;

3) прохождение половодья 1998 г. без ледового затора и влияния подпора со стороны р. Юг. На входной границе р. Сухона задавались те же расходы воды, что и при моделировании реально наблюдавшегося половодья, по р. Юг задавались расходы воды в три раза меньше наблюденных для исключения влияния подпорной составляющей, блок моделирования ледовых заторов не подключался.

Анализ полученных результатов показал, что в период максимальных уровней воды 5-6 мая 1998 г. вклад заторной составляющей составлял 3,0–3,1 м (около 35% от общего повышения уровней воды над нулем графика поста), величина вклада подпорного повышения в этот период по результатам моделирования до 0,40 м (7%) (рис. 2). После ледового затора максимальные расходы р. Сухона наблюдались 7-8 мая, в этот период вклад подпора со стороны р. Юг также составлял 0,40 – 0,45м или 7% от общей величины повышения уровней воды. После прохождения максимальных расходов воды по р. Сухона вклад подпорной составляющей увеличился до 1,0 – 1,2 м (25% от общего повышения уровней воды), что было обусловлено более поздним прохождением пика половодья по р. Юг и относительно высокими расходами по ней (от 2000 до 3000 м^3/с). Такая ситуация с повышенным вкладом подпорной составляющей наблюдалась до конца мая.

Таким образом, для рассмотренного половодья 1998 г. при максимальном затоплении коэффициент генетической значимости заторной составляющей получился равным 0,35, подпорной – 0,07, стоковой 0,58. На спаде половодья длительное время наблюдались стоково-

подпорные уровни, коэффициент генетической значимости подпорной составляющей – 0,25. Для формирования максимальных уровней в районе г. Великий Устюг важно, что подпор р. Сухона р. Юг происходит на спаде волны половодья, т. е. не совпадает по времени с максимальными уровнями, определяющими затопление территории.



а) б)

Рис. 1 Затопление территории у г. Великий Устюг по результатам расчетов на основе двумерной модели STREAM_2D: а) максимальное затопление 05.05.1998; б) затопление 11.05.1998 по данным космического снимка Ресурс-01 и гидродинамической модели.

Разработанный подход оценки вклада генетических составляющих уровней воды на основе методов гидродинамического моделирования наглядно иллюстрирует основные причины повышения уровней воды в различные моменты времени и может применяться для анализа факторов затопления территории в многолетнем разрезе.

Благодарности. Моделирование динамики половодий выполнено при поддержке проекта РНФ 17-11-01254, методика оценки генетических составляющих разработана при поддержке проекта РФФИ 17-05-01230.

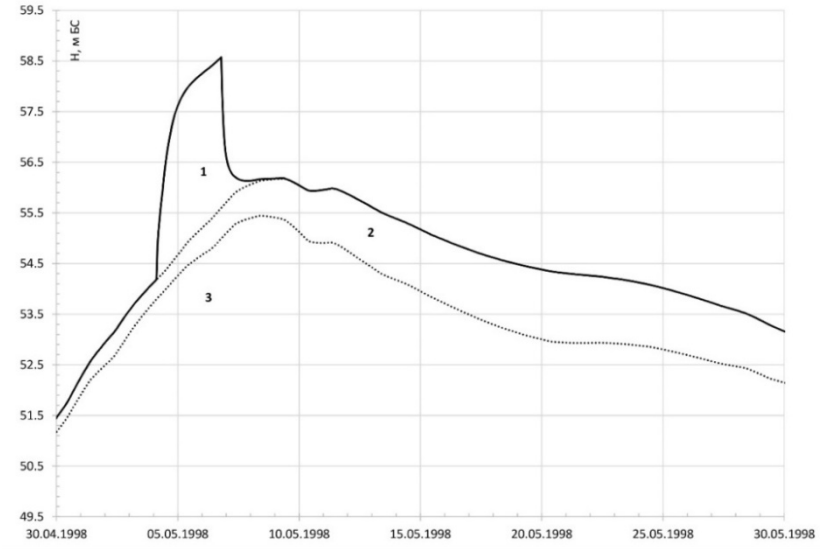


Рис. 2 Выделение генетических составляющих уровней воды (1 – заторная; 2 – подпорная; 3 – стоковая) по гп Великий Устюг на основе методов гидродинамического моделирования

Литература

1. Алексеевский Н. И., Ободовский А.Г., Самохин М.А. Механизмы изменения уровней воды в реках. //Эрозионные и русловые процессы. Вып. 4. М.:Изд-во МГУ, 2005. с.216-237.
2. Никитина Н.А. Русловые процессы в узлах слияния рек: Авторефер. канд. дис. М., 1989.
3. Банщикова Л.С. Мониторинг процесса заторообразования на реках по пространственно-временным графикам уровня воды // Метеорология и гидрология. 2008. № 9. с. 87–93.
4. Алабян А.М., Алексеевский Н.И., Власов Б.Н., Жук В.А., Фролова Н.Л. Генетический анализ изменения гидроэкологической безопасности населения и хозяйства в районе г. Великий Устюг // В сб. Гидроэкология: теория и практика. (Проблемы гидрологии и гидроэкологии, вып. 2). М: Географический факультет МГУ, 2004. с. 476-482.
5. Крыленко И. Н. Исследование подпорных явлений в узле слияния рек Сухоны и Юга на основе компьютерного моделирования. //Вест. Моск. университета. Серия 5: География 2009. №1. с.53–58.
6. Беликов В.В., Кочетков В.В. Программный комплекс STREAM_2D для расчета течений, деформаций дна и переноса загрязнений в открытых потоках // Роспатент. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2014612181. М., 2014.
7. 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.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ НА ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМАХ

А.М. Кузнецова, Г.А. Байдаков, к. ф.-м. н., А.С. Досаев, В.В. Папко, к.ф.-м.н., Д.А. Сергеев, к. ф.-м. н., Ю.И. Троицкая, д. ф.-м. н.
Институт прикладной физики Российской академии наук (ИПФ РАН), Нижний Новгород, Россия

SIMULATION OF SURFACE WIND WAVES ON THE WATER BODIES

A.M. Kuznetsova, G.A. Baydakov, Cand. Sc., A.S. Dosaev, V.V. Papko, Cand. Sc., D.A. Sergeev, Cand. Sc., Yu.I. Troitskaya, Dr. Sc.
Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences (IAPRAS), Nizhny Novgorod, Russia

Доклад посвящен моделированию ветра и волнения на внутренних водоемах с использованием современных глобальных моделей WAVEWATCH III и WRF. При моделировании учтены особенности внутренних водоемов, для чего изменены открытые программные коды. Проведена валидация данными натурных экспериментов.