

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 621.9.08: 004.514.62

ПЕТРОВ
Дмитрий Олегович

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАВОДНЕНИЙ НА РАВНИННЫХ РЕКАХ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности
05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации

Минск 2019

Работа выполнена
в УО «Брестский государственный технический университет».

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ –

Костюк Дмитрий Александрович,
кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры электронных
вычислительных машин и систем
УО «Брестский государственный технический
университет»;

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

Недзьведь Александр Михайлович,
доктор технических наук,
заведующий кафедрой компьютерных
технологий и систем
Белорусского государственного университета;
Богущ Рихард Петрович,
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой
вычислительных систем и сетей
УО «Полоцкий государственный университет».

ОППОНИРУЮЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ –

**ГНУ «Объединенный институт проблем
информатики НАН Беларуси».**

Защита состоится **24 мая 2019** года в **14.00** часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.01.14 при Белорусском государственном университете по адресу: *Минск, ул. Ленинградская 8 (корпус юридического факультета), ауд. 407.* Телефон учёного секретаря: 209-57-09.

Почтовый адрес: пр-т Независимости 4, Минск, 220030.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке Белорусского государственного университета.

Автореферат разослан «___» *апреля* 2019 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций
кандидат физ.-мат. наук доцент

Ю.И. Воротницкий

ВВЕДЕНИЕ

Согласно обобщающему докладу за 2014 год, подготовленному Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК), за последние десятилетия значительно увеличились потери от связанных с погодой бедствий. Статистические данные показывают, что одним из наиболее частых источников чрезвычайных ситуаций (ЧС) на территории Евразии являются наводнения, которые превосходят все остальные ЧС по площади охватываемой территории и наносимому среднему годовому ущербу. Так, в Республике Беларусь (и, соответственно, Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь), уделяется существенное внимание разработке методов и программных средств для мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера, в т. ч. в рамках Государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Мониторинг паводковой ситуации и прогноз рисков наводнения – это сложный комплекс задач, для решения которых требуется обработка больших объемов информации, а также учет гидрометеорологических особенностей конкретной местности. В нашей стране влияние наводнений особенно ощутимо (в отдельные годы катастрофично) в пойме р. Припять и ее притоков. Их основной причиной являются половодья и паводки редкой повторяемости, а характер типичен для равнинных рек с преимущественно снеговым питанием.

Проведение противопаводковых мероприятий позволяет сокращать фактический ущерб от наводнений, однако требует значительных затрат и эксплуатационных расходов. Поскольку полностью исключить наводнения в Беларуси невозможно, первоочередная задача состоит в том, чтобы максимально приспособить хозяйственную деятельность к возможным экстремальным условиям и тем самым минимизировать наносимый урон. Поэтому мониторинг и прогнозирование затопления населенных пунктов, объектов инфраструктуры и сельскохозяйственных земель в Республике Беларусь, и в частности в Полесском регионе, являются важными и актуальными задачами, которым посвящено настоящее диссертационное исследование.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами, темами

Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям научных исследований в Республике Беларусь на 2016–2020 гг., утвержденным Указом

Президента Республики Беларусь от 22 апреля 2015 г. № 166, п. 7 «Информационно-коммуникационные и авиакосмические технологии» и п. 9 «Национальная безопасность и обороноспособность, защита от чрезвычайных ситуаций».

Результаты диссертационной работы использованы в госбюджетных НИР ГБ 11/106 «Разработать вычислительные средства централизованного мониторинга и прогнозирования паводка» (2011–2013, номер гос. регистрации 20113076), ГПНИ «Научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций», НИР ГБ 13/101 «Разработать вычислительные методы и средства оперативного получения и исследования климатических данных для целей прогнозирования паводка» (2013–2014, номер гос. регистрации 20132431) ГПНИ «Информатика и космос, научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций» и НИР ГБ 16/209 «Разработать интегрированную систему визуализации и прогнозирования паводка на техногенно-нагруженных территориях» ГПНИ «Информатика, космос и безопасность» (2016–2017, номер гос. регистрации 20163593).

Цель и задачи исследования

Объект исследования – речные гидрологические системы.

Предмет исследования – методики и алгоритмы анализа процесса развития наводнений в речных гидрологических системах.

Целью диссертационной работы является разработка методики, алгоритмов и программного обеспечения для моделирования и прогнозирования наводнений на равнинных реках.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать алгоритмы расчета зоны затопления речной поймы при возникновении наводнений.

2. Разработать методику прогнозирования расхода воды в контрольной точке реки во время весеннего половодья на основе анализа гидрометеорологической информации, предоставляемой как наземными, так и космическими средствами мониторинга.

Научная новизна

1. Разработан алгоритм расчета зоны затопления поймы бесприточного участка реки, снижающий вычислительную нагрузку по сравнению с традиционными геометрическими методами за счет представления зеркала поднявшейся воды упрощенной триангуляционной поверхностью с моделированием распространения воды по матричной модели ландшафта и

гарантирующий отсутствие ошибочного включения в расчетную зону затопления изолированных впадин рельефа местности.

2. Разработан алгоритм расчета зоны затопления для фрагмента разветвленной речной сети, который использует клеточный автомат, моделирует распространение поднявшейся воды по цифровой модели рельефа местности в виде матрицы высот, не требует геометрического сопряжения моделей поверхности воды, относящихся к разным водотокам, и позволяет настраивать модель растекания воды по подстилающей поверхности.

3. Предложена методика прогнозирования развития половодья на основе применения искусственных нейронных сетей для многофакторного анализа с использованием следующих параметров: гидрологических измерений расхода воды в створе русла реки, выпавших осадков и данных о содержании воды в снежном покрове на водосборной площади реки, а также разработан программный комплекс, применяющий разработанные алгоритмы и методику для отображения прогнозной динамики весенних половодий. Впервые для краткосрочного прогнозирования расхода воды в контрольной точке реки во время весеннего половодья использована оценка содержания воды в снежном покрове на основе обработки данных мультдиапазонных спутниковых радиотепловых измерений.

Положения, выносимые на защиту

1. Алгоритм расчета затопления поймы бесприточного участка реки, отличающийся от аналогов гарантированным отсутствием ошибочного включения в расчетную зону затопления изолированных впадин рельефа местности при невысоких вычислительных требованиях, что достигается представлением зеркала поднявшейся воды упрощенной сеточной триангуляционной поверхностью и моделированием распространения воды по двумерному матричному представлению ландшафта.

2. Алгоритм расчета затопления поймы речной сети, использующий клеточный автомат, моделирующий распространение поднявшейся воды по цифровой модели рельефа поймы реки, представленной матрицей высот, отличающийся автоматическим сопряжением моделей поверхности воды разных водотоков и возможностью настройки характера растекания воды для эмпирического учета особенностей подстилающей поверхности.

3. Методика прогнозирования развития половодья на основе применения искусственных нейронных сетей для многофакторного анализа с использованием следующих параметров: гидрологических измерений расхода воды в створе речной сети, выпавших осадков, а также оценок содержания воды

в снежном покрове на водосборной площади реки, получаемых в результате обработки данных мультидиапазонных спутниковых радиотепловых измерений.

4. Программный комплекс расчета и отображения динамики весенних половодий, выполняющий прогнозирование изменений расхода воды в контрольных точках русла реки, а также геометрические расчеты зон затопления с использованием как реальных данных, получаемых от гидрометеорологических станций, так и результатов выполненного прогнозирования.

Личный вклад соискателя научной степени

Все основные результаты и положения, выносимые на защиту, получены лично автором. Научный руководитель кандидат технических наук доцент Д. А. Костюк принимал участие в постановке задач, определении возможных путей их решения, предварительном анализе, обсуждении результатов исследований. В публикациях с соавторами вклад соискателя определяется рамками диссертационной работы. Соавторы А. А. Волчек и Н. Н. Шешко, принимали участие в обсуждении территориальных гидрологических особенностей и полученных практических результатов; В. Ю. Коваленко, А. Ф. Козак, Ю. А. Кузавко и В. В. Вишневский, участвовали в обсуждении развития отдельных прикладных направлений проводимых исследований.

Автор выражает благодарность доктору географических наук профессору Александру Александровичу Волчеку за советы и помощь в оценке гидрологического режима и выявлении характерных особенностей равнинных рек Беларуси.

Апробация диссертации и информация об использовании результатов

Материалы диссертации докладывались на конференциях: XXVI Международная научно-техническая конференция «Hydrology: from research to water management» (Рига, 2010), международная научно-практическая конференция «Научно-технические проблемы водохозяйственного и энергетического комплекса в современных условиях Беларуси» (Брест, 2011), 11-я Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2011 года: экологические проблемы XXI века» (Минск, 2011), научно-техническая конференция «Промышленная экология» (Минск, 2012), международная научная конференция «Проблемы природопользования: итоги и перспективы» (Минск, 2012), международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и системы – 2013» (Минск, 2013), Международная научно-практическая конференция «Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания» (Брест, 2013), «7th Study Conference on Baltex» (Borgholm, 2013), Третья

Международная научно-практическая конференция «FOSS Lviv 2013» (Львов, 2013), 2-я Международная научная конференция «Climate change – the environmental and socio-economic response in the southern Baltic region» (Щецин, 2014), 11-е научные чтения «Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства» (Рязань, 2014), IV Международная научно-практическая конференция «Морские исследования и образование: MARESEDU-2015» (Москва, 2015), международная научная конференция «Joint regional climate system modelling for the European sea regions» (Рим, 2015), международная научно-практическая конференция «Технологии информатизации и управления ТИМ-2016» (Гродно, 2016), международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы наук о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды», посвященная Году науки в Республике Беларусь (Брест, 2017), V Международный Водный Форум «Водные ресурсы и климат» (Минск, 2017), международная научная конференция «Информационные технологии и системы – 2017» (Минск, 2017) международная научно-техническая конференция «Мониторинг техногенных и природных объектов» (Минск, 2017).

Результаты диссертации внедрены в ГУ «Брестский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»; в ОАО «Полесьегипроводхоз»; в УО «Брестский государственный технический университет» (имеется 3 акта о внедрении). Подана заявка на изобретение «Способ прогнозирования расходов воды весенних половодий», № а 20180213, МПК G06N 3/02.

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 28 научных работах, из которых 6 статей в научных изданиях в соответствии с п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (общим объемом 4,28 авторского листа), 4 статьи в других научных изданиях, 16 статей в сборниках материалов научных конференций, 2 тезисов докладов.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложения. Полный объем диссертации составляет 128 страниц, в том числе 68 рисунков на 38 страницах, 6 таблиц на 3 страницах, одно приложение на 6 страницах. Библиографический список содержит 161 наименование, включая собственные публикации соискателя ученой степени.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В **первой главе** приведены результаты анализа проблем мониторинга и прогнозирования наводнений в бассейне реки.

С точки зрения системного анализа речной бассейн представляет собой сложную саморегулирующуюся гидрологическую систему, для которой невозможно построить точную аналитическую модель, поэтому в рамках системного подхода речной бассейн описывается составной имитационной моделью, включающей расчетные и эмпирические элементы.

Проведен обзор основных компонентов современных автоматизированных систем прогнозирования наводнений (АСПН): информационного, вычислительного, визуализации и доведения прогнозов до пользователя. Рассмотрены варианты представления рельефа поверхности речного бассейна в виде цифровых моделей и способы их создания. Описан состав процедур гидрологического прогнозирования, используемых вычислительным компонентом АСПН и включающий гидродинамические модели движения воды по поверхности бассейна и в речном русле, геометрические методы вычисления границ зоны затопления и нейросетевые методы составления гидрологических прогнозов. Рассмотрены методы отображения затопления территории.

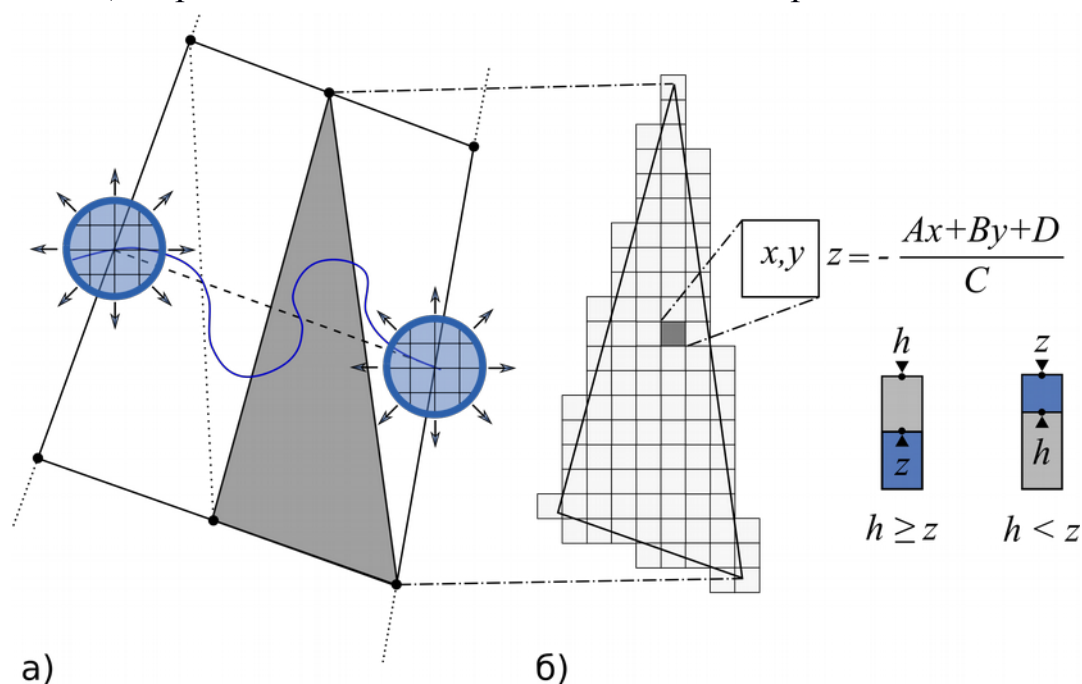
Показана важность учета динамики изменения снеготпасов при прогнозировании половодий и наводнений для рек, питание которых относится к смешанному типу с преобладанием снегового (к таким рекам относится р. Припять). Рассмотрены методы как традиционные, так и перспективные дистанционные методы оценки состояния запасов воды в снежном покрове, позволяющие проводить ежедневные измерения на больших территориях с использованием технических средств, регистрирующих радиотепловое излучение Земли.

Во **второй главе** рассматривается задача корректного геометрического вычисления зоны затопления поймы реки при прохождении паводка, позволяющего избежать как ресурсоёмкого представления в виде мелкочаеистой сеточной модели, так и чрезмерно упрощенного представления поверхности воды в виде горизонтальной плоскости или набора наклонных плоскостей для отражения перепада высот вдоль речного русла.

Предложен алгоритм вычисления контуров зоны затопления поймы бесприточного участка реки, базирующийся на методе створов, преимуществом которого является возможность работы на мобильных вычислительных платформах, существенно ограниченных в вычислительных ресурсах.

Поднявшаяся вода представлена полосой криволинейной поверхности, состоящей из смежных треугольных граней и построенной методом движения образующей по модели осевой линии реки. Ширина полосы соответствует

предполагаемой ширине разлива реки во время наводнения. Модель осевой линии реки представлена ломаной, соединяющей проекции гидрологических постов наблюдения на ось русла реки, вертикальные координаты которых соответствуют высоте подъема уровня воды. Расчет зоны затопления предусматривает предварительную растеризацию граней модели поверхности поднявшейся воды в соответствии с разрешением ЦМР поймы реки в виде высотных отметок в узлах регулярной сети. Зона затопления рассчитывается путем распространения вычисленных во время растеризации высот элементов треугольных граней модели поднявшейся воды выполнением рекурсивного алгоритма заливки этих элементов с начальными точками, расположенной в вершинах модели осевой линии реки (рисунок 1, а) : если расчетная высота подъема воды превышает высоту соответствующего элемента ЦМР, то таковой элемент модели рельефа считается затопленным (рисунок 1, б). При невозможности затопления очередных элементов ЦМР расчет зоны затопления считается завершенным.



**Рисунок 1. – Расчет зоны затопления поймы бесприточного участка реки:
а – распространение вычисленных высот элементов треугольных граней модели зеркала воды по ЦМР; б – определение факта затопления отдельных элементов ЦМР**

Преимуществом разработанного алгоритма является то, что этап построения модели поднявшейся воды обладает низкой вычислительной сложностью, а его второй этап обеспечивает отсутствие ошибочного включения в расчетную зону затопления изолированных впадин рельефа местности.

Вследствие существования задач, диктующих необходимость перехода от локальной модели участка реки к глобальной модели речной поймы, включаю-

щей несколько водотоков, связанных в общую речную сеть, разработан алгоритм затопления поймы фрагмента разветвленной речной сети (рисунок 2).

На первом этапе выполняется преобразование в растр проекций осевых линий рек на ЦМР поймы речной сети в виде высотных отметок $r_{xy} \in R$ в узлах регулярной сети, а также создается список W , содержащий водотоки речной системы, отсортированные по возрастанию их рангов (каждый элемент $w_i \in W$ представляет собой список A_{w_i} , элементы которого принадлежат осевой линии i -го водотока). Высоты элементов разложения в растр $a_i \in A_{w_i}$ проекций осевых линий рек вычисляются путем линейной интерполяции высот подъема уровня воды $h(g_i^w)$ на гидрологических постах наблюдения, $g_i^w \in G$ при этом все элементы ЦМР поймы, расположенные под проекциями осевых линий считаются затопленными.

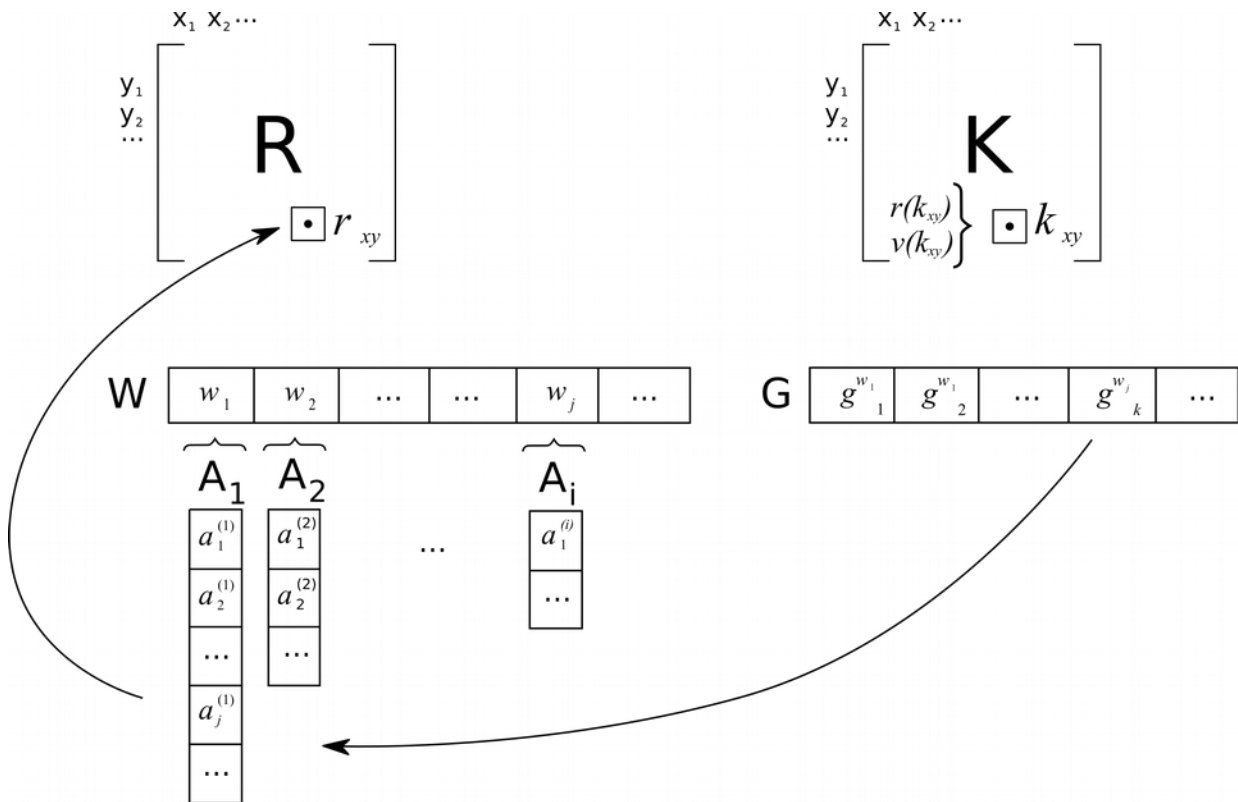


Рисунок 2. – Представление данных в алгоритме расчета затопления речной сети

На втором этапе работы алгоритма выполняется распространение интерполированных вдоль осевых линий русел высот подъема уровня воды по ЦМР при помощи двумерного клеточного автомата K . С каждым $k_{xy} \in K$ связаны следующие свойства: $r(k_{xy})$ – значение элемента $r_{xy} \in R$ с совпадающими координатами, $v(k_{xy})$ – высота уровня воды над соответствующим элементом $r_{xy} \in R$. Если $r_{xy} \in R$ затоплен, то значение $v(k_{xy})$ положительно, в противном случае $v(k_{xy}) = -1$.

Вводятся параметр линейной интерполяции t и коэффициент затухания d , которым перед началом итераций клеточного автомата K присваиваются значения из промежутков $[0; 1]$ и $(0; 1]$ соответственно. Правило синхронного изменения состояния ячеек $k_{xy} \in K$ задается следующим образом: вводится множество ячеек $k_{x'y'}$, находящихся в окрестности Мура относительно k_{xy} , а также величина h , равная результату линейной интерполяции с параметром t между минимальной и максимальной положительной величиной $v(k_{x'y'})$ среди множества $k_{x'y'}$; если $v(k_{xy}) = -1$ и есть значения $v(k_{x'y'}) > 0$, то в случае справедливости неравенства $h \cdot d > r(k_{xy})$ новым значением $v(k_{xy})$ станет $h \cdot d$.

Условием завершения работы клеточного автомата (КА) и соответственно окончания процесса моделирования распространения фронта поверхности воды является отсутствие изменений своего состояния ячейками КА. Искомой зоной затопления является множество $\{k_{xy} : v(k_{xy} \in K) > -1\}$.

Достоинствами разработанного алгоритма по отношению к известным геометрическим методам расчета зоны затопления следует считать отсутствие сложного геометрического сопряжения моделей поверхности воды разных водотоков и регулировку ширины моделируемого разлива воды подбором значений параметра линейной интерполяции t и коэффициента затухания d .

Для обоих предложенных алгоритмов выполнен анализ адекватности на основе использования набора данных «EMSR044: Floods in Germany» (<http://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR044>), содержащего карты затопления, возникшего 03.06.2013 во время прохождения дождевого паводка, окрестностей ряда населенных пунктов, расположенных вдоль течения р. Эльба на территории Федеративной Республики Германия, и ЦМР EU-DEM v 1.0 (<https://land.copernicus.eu/pan-european/satellite-derived-products/eu-dem/view>).

В результате проведенного анализа получены высокие величины коэффициента подобия расчетных зон затопления фактически зарегистрированным: от 0,76 до 0,81 при среднем значении коэффициента пересеченности местности $\geq 0,6$ м и от 0,37 до 0,44 при среднем значении коэффициента пересеченности местности менее 0,6 м.

Третья глава посвящена решению задачи прогнозирования половодий экстраполяцией временных рядов значений расхода воды в контрольных точках русла реки (благодаря существованию прямой зависимости между расходом и уровнем воды, возможен однозначный пересчет значений расхода в значения высоты подъема уровня воды для каждого гидрологического поста наблюдения). Задача прогнозирования решается применением многофакторного анализа, учитывающего помимо гидрологических измерений расхода воды также кли-

матические факторы: температуру воздуха, количество выпавших осадков и данные о содержании воды в снеге на водосборной площади. Решаемая задача ориентирована на равнинные реки с преимущественно снеговым питанием, примером которых в Республике Беларусь может служить р. Припять.

Применение традиционного способа определения содержания воды в снеге – взятие проб снега на снегомерных маршрутах на водосборной площади – является ограниченным в силу трудоемкости, и потому было принято решение воспользоваться результатами ежедневной оценки содержания воды в снежном покрове на основе пассивного радиотеплового сканирования поверхности водосборной площади с борта искусственного спутника Земли (ИСЗ).

Для проверки применимости данных микроволновых сканеров-поляриметров в процессах количественной оценки интенсивности снеготаяния, исследована адекватность определения температурных коэффициентов стаивания снежного покрова: использованы ежедневные величины оценок водного эквивалента снежного покрова за период с 1979 по 2011 г.г. на территории водосборных площадей рек Неман, Западная Двина, Днепр, Припять и Западный Буг с соответствующими замыкающими створами, расположенными на государственных границах РБ. В результате установлено, что вычисленные значения в 96,5% случаев не превышают теоретически возможные и потенциально пригодны для оценки хода процесса снеготаяния.

Существующий подход к определению водного эквивалента снежного покрова на основе данных радиотепловых спутниковых измерений основан на применении эмпирически установленных регрессионных зависимостей, нередко дающих существенные расхождения по сравнению с непосредственными измерениями на снегомерных маршрутах. С целью повышения точности вычисления содержания воды в снежном покрове на большой климатически неоднородной территории исследована возможность замены регрессионных моделей математическим и алгоритмическим аппаратом искусственных нейронных сетей (ИНС). Используются данные, полученные при помощи микроволнового сканирующего радиометра-поляриметра SSM/I за промежуток времени с 1987 по 2014 г.г. В качестве доступного примера территории с требуемыми размерами и климатической неоднородностью были выбраны фрагменты территории РФ. Обучение и тестирование ИНС было проведено на наборе данных из источника «Характеристики снежного покрова на метеорологических станциях России и бывшего СССР» Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации.

Для обучения ИНС использовались метеорологические станции с дифференциацией снегомерных маршрутов по ландшафтному признаку: лес,

поле и лес/поле. В качестве ИНС использовался многослойный персептрон с одним промежуточным слоем.

ИНС, индивидуально обученные для каждого снегомерного маршрута, для данных с расширенным набором используемых радиочастотных каналов (19,35; 37,0; 85,5 ГГц как горизонтальной, так и вертикальной поляризации) позволили достичь максимальной величины коэффициента корреляции Пирсона r равной 0,79, что показывает предпочтительность использования ИНС для оценки величины водного эквивалента снежного покрова.

Исследовано влияние снегозапасов на развитие весеннего половодья в бассейне р. Припять на основе анализа архива динамики изменения водного эквивалента на площади северного полушария Земли за период с 1979 г. по 2004 г., созданного в рамках проекта GlobSnow Финским метеорологическим институтом по контракту с Европейским космическим агентством (данные архива получены путем ассимиляции результатов наблюдений наземных метеорологических станций с измерениями орбитальных пассивных сенсоров микроволнового излучения SMMR и SSM/I). Проведенное исследование показывает, что весенние половодья, приводящие к крупным наводнениям, возникают при интенсивном снеготаянии, происходящем одновременно с выпадением жидких осадков. Поскольку микроволновое излучение полностью поглощается слоем воды в толще либо на поверхности снега (в результате таяния и/или выпадения осадков), оказывается возможным надежное и своевременное выявление момента начала интенсивного снеготаяния.

Согласно полученным выводам разработана основанная на использовании ИНС методика прогнозирования среднесуточного расхода воды на выбранном створе реки во время прохождения как высоких весенних половодий, приводящих к возникновению наводнений, так и малых весенних половодий (рисунок 3), отличающаяся применением многофакторного анализа, учитывающего гидрологические измерения расхода воды, среднесуточную температуру воздуха, количество выпавших осадков и данные о содержании воды в снежном покрове на водосборной площади.

Категория ожидаемого половодья определяется по количеству выпавших осенних осадков за период октябрь-ноябрь и доле дней с отрицательной среднесуточной температурой воздуха за период декабрь-январь. Необходимые характерные значения учитываемых величин определяются анализом метеорологических временных рядов, накопленных за промежутки времени, непосредственно предшествовавшие зарегистрированным высоким половодьям.

Для выполнения прогноза значений расхода воды вплоть до максимальных (т. н. восходящей ветви гидрографа) во время прохождения высоких весен-

них половодий предложено использовать ИНС, одновременно обрабатывающую методом скользящего окна значения двух временных рядов: среднесуточных расходов воды, зарегистрированных на гидрологическом посту наблюдения, и суммарных величин накопления воды в снежном покрове на исследуемой водосборной площади. Величины накопления воды в снежном покрове вычисляются отдельной ИНС на основе радиояркостных спутниковых измерений. При учете суммарных величин накопления воды в снежном покрове предусматривается возможность дополнительной обработки для усиления значений, предшествующих моменту поглощения микроволнового излучения слоем воды (формирования четкого сигнала начала интенсивного снеготаяния).

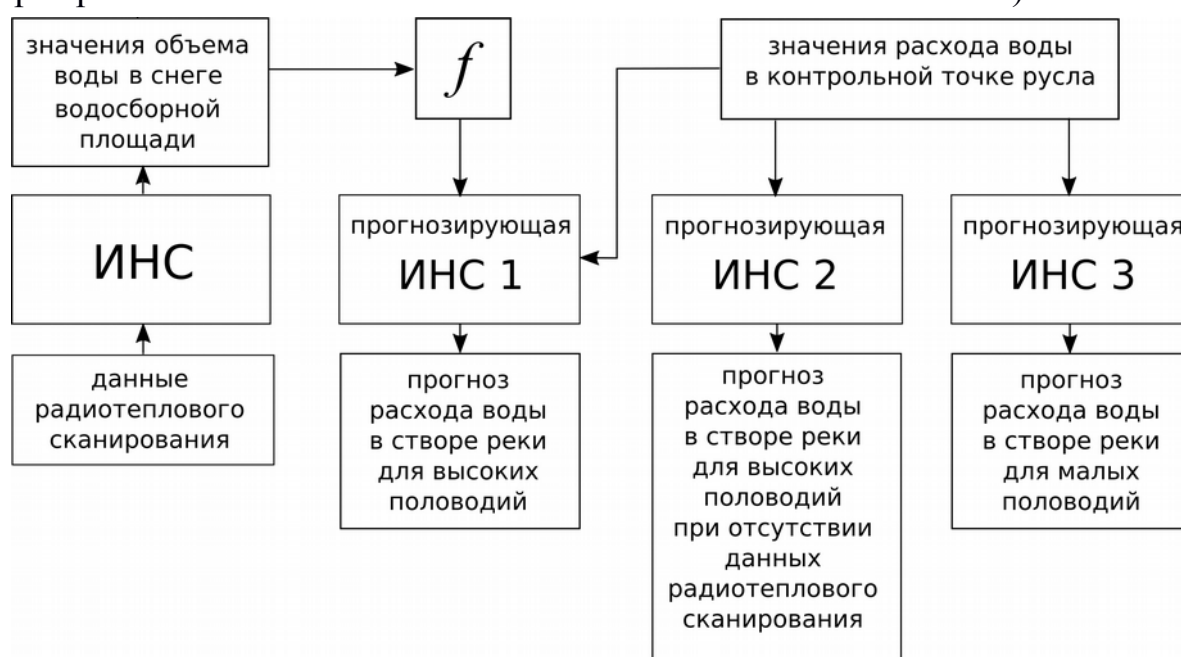


Рисунок 3. – Структурная схема методики прогнозирования расхода воды в створе реки при прохождении весенних половодий

На случай сбоя в оборудовании ИС3 (характерный пример – зарегистрированная 05.04.2016 и сохраняющаяся по сей день техническая неисправность канала 37 ГГц вертикальной поляризации сенсора SSMIS на спутнике DMSP F-17), на гидрометеорологических данных, характерных для высоких половодий, обучаются две прогнозирующие ИНС: ИНС 1 для одновременного учета двух временных рядов и ИНС 2 только для учета временного ряда значений расхода воды.

Для малых половодий проведенное исследование не показало однозначной зависимости между изменением снеготаяния и увеличением расхода воды. Поэтому, когда данные об осенних осадках и зимних среднесуточных температурах свидетельствуют о предстоящем малом половодье, для

прогнозирования предлагается ИНС 3, обученная на гидрологических данных, характерных для малых половодий.

Размер скользящего окна для обработки значений временных рядов определяется эмпирически с целью минимизации ошибки обученной ИНС на тестовой выборке. Размер горизонта прогнозирования должен соответствовать заблаговременности среднесрочного метеорологического прогноза (от 7 до 10 суток). Для оценки характера спада воды при достижении пика половодья предложено выполнять также прогноз нисходящей ветви гидрографа (не более чем на удвоенную величину горизонта прогнозирования).

В результате, предлагаемая методика включает использование набора прогнозирующих ИНС, обученных на разных классах экстремальных гидрологических явлений, а также каскадное подключение дополнительной ИНС, выполняющей оценку значений водного эквивалента снежного покрова.

Апробация предложенной методики прогнозирования проведена на водосборной площади р. Припять с расположением замыкающего створа у гидрологического поста наблюдения в г. Мозырь. В качестве архитектуры прогнозирующих ИНС использован многослойный персептрон с одним скрытым слоем, а обработку величин накопления воды в снежном покрове для формирования четкого сигнала начала интенсивного снеготаяния выполняет ступенчатый фильтр. В результате проведенных вычислительных экспериментов, при оценке качества прогнозирования расхода воды в контрольном створе реки во время прохождения весенних половодий тремя разработанными ИНС получены высокие значения коэффициентов корреляции Пирсона, а именно: 0,99, 0,94 и 0,74 соответственно.

Четвертая глава посвящена разработке программного комплекса для расчета и отображения динамики весенних половодий.

Программный комплекс состоит из двух подсистем. Назначением первой подсистемы является расчет зоны затопления при подъеме уровня воды в речной сети во время прохождения паводка (рисунок 4).

Рассматриваемой подсистемой обеспечивается отображение зоны затопления поверх картографической основы, что подобно соответствующим картам подтоплений, публикуемых МЧС РБ в обзорах прохождения половодья. В качестве картографической основы используются данные некоммерческого проекта OpenStreetMap (OSM), предоставляемые по лицензии Open Database License. Следует отметить, что данные проекта OSM также используются Государственным комитетом по имуществу РБ в качестве картографической основы при отображении кадастровой карты РБ, находящейся в открытом доступе. Для оперативного вычисления границ зоны затопления при

повышении высоты уровня воды во время половодья, предусмотрено получение данных об уровне воды в контрольных створах от автоматических гидрометеорологических станций. Данная возможность апробирована на данных шести действующих станций сети Брестоблгидромета.

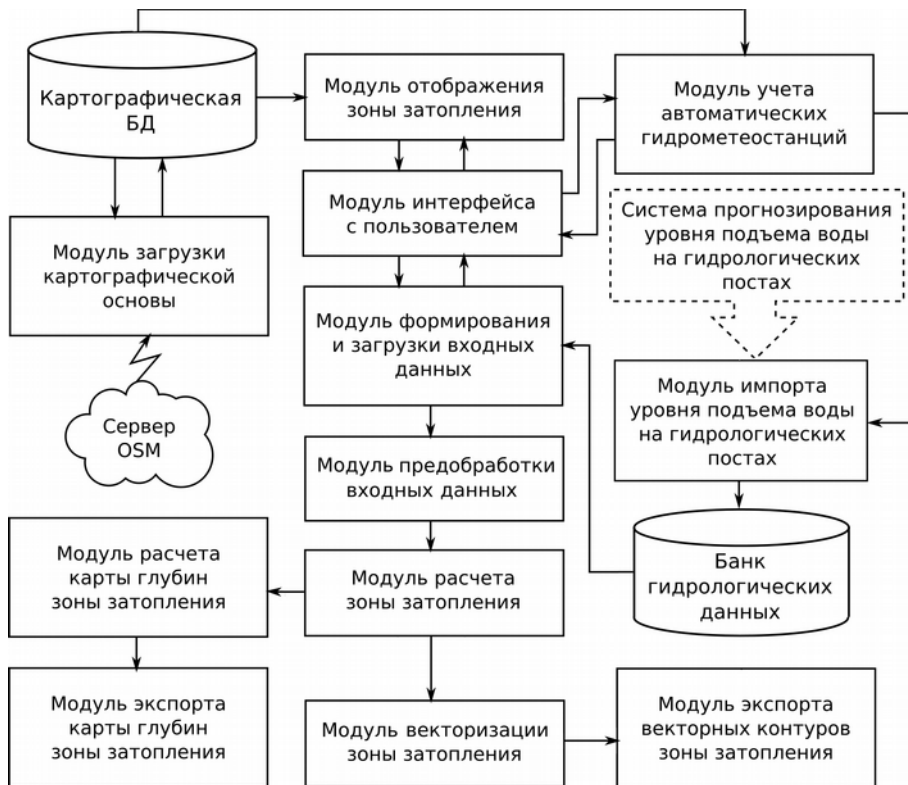


Рисунок 4. – Архитектура программного обеспечения расчета зоны затопления

Очередной составной частью разработанной программной системы является подсистема прогнозирования весеннего паводка (рисунок 5). Назначением данной подсистемы является прогнозирование расходов и уровней воды в контрольных створах речной системы на основе нейросетевой обработки динамики изменения агрегатного состояния снежного покрова, выпадения осадков и изменения приземной температуры воздуха.

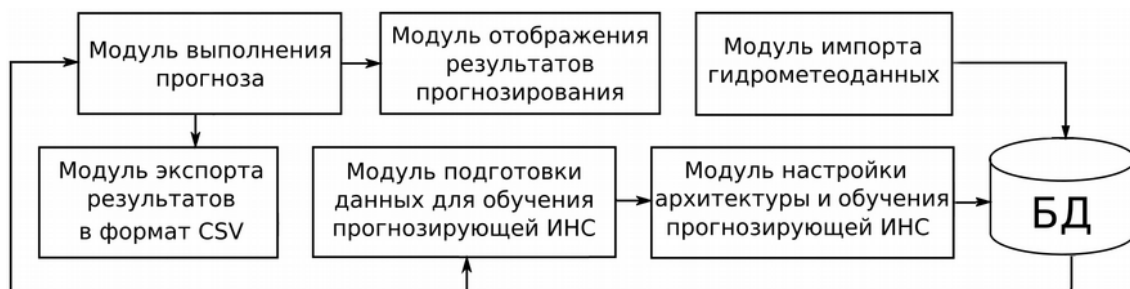


Рисунок 5. – Архитектура программного обеспечения для прогнозирования расхода воды в контрольной точке реки

В связи с неоднородностью автоматических гидрометеостанций (АГС), используемых в настоящее время для получения данных гидрометеоизмерений разработана программная архитектура на основе динамически подключаемых модулей. На текущий момент система способна взаимодействовать с шестью АГС на следующих пунктах гидрологических наблюдений в бассейне р. Припять: гидрологический пост (ГП) «Береза» на р. Ясельда, ГП «Дятловичи» на р. Цна, ГП «Пинск» на р. Пина, ГП «Лопатино» на р. Стырь, ГП «мост Любанский» на р. Припять, ГП «Малые Викоровичи» на р. Горынь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработан алгоритм расчета затопления поймы бесприточного участка реки, который выполняет представление зеркала поднявшейся воды упрощенной сеточной триангуляционной поверхностью с моделированием распространения воды по цифровой модели поймы реки в виде матрицы высот, который отличается от аналогов невысокими вычислительными требованиями при гарантированном отсутствии ошибочного включения в расчетную зону затопления изолированных впадин рельефа местности [1–8; 11–15].

2. Разработан алгоритм расчета затопления поймы фрагмента разветвленной речной сети, который, используя клеточный автомат, моделирует распространение поднявшейся воды по цифровой модели рельефа поймы реки, представленной матрицей высот, отличаясь отсутствием необходимости геометрического сопряжения моделей поверхности воды разных водотоков и возможностью настройки модели растекания воды для эмпирического учета особенностей подстилающей поверхности [5; 22; 23].

3. Исследована адекватность применения эмпирических регрессионных зависимостей для определения изменений содержания воды в тающем снежном покрове трансграничных водосборных площадей рек Беларуси при обработке данных мультидиапазонных спутниковых радиотепловых измерений. Результаты исследований показывают, что полученные величины коэффициентов стаивания в 96,5 % случаев не превышают теоретически возможных [6; 9; 17; 19; 20; 21].

4. Исследована возможность повышения точности вычисления водного эквивалента снежного покрова на больших климатически неоднородных территориях путем нейросетевого анализа данных мультидиапазонных спутниковых радиотепловых измерений вместо применения эмпирических регрессионных формул. Определены наборы радиочастотных каналов в различной поляризации, информативных для определения водного эквивалента

снежного покрова на трех типах ландшафта. Полученные результаты позволили сделать вывод о необходимости как расширения используемого диапазона частот радиотепловых измерений по сравнению с применяемым в регрессионном подходе, так и дифференциации входных данных по характеру растительного покрова исследуемых территорий [6].

5. Предложена методика прогнозирования развития половодья на основе применения искусственных нейронных сетей для многофакторного анализа с использованием следующих параметров: гидрологических измерений расхода воды в створе речной сети, выпавших осадков, а также оценок содержания воды в снежном покрове на водосборной площади реки. Методика предусматривает каскадное соединение нейронной сети, определяющей водный эквивалент снежного покрова по данным мультидиапазонных спутниковых радиотепловых измерений, с прогнозирующей нейронной сетью [6; 24; 28].

6. Разработан программный комплекс, применяющий разработанные алгоритмы и методику для отображения прогнозной динамики развития весенних половодий [1; 9; 27].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Эффективность результатов исследований подтверждена практическим применением при выполнении НИР.

Результаты диссертационных исследований могут быть применены:

- на разных уровнях муниципального управления для поддержки принятия решений в ситуациях возникновения чрезвычайных гидрологических явлений;
- в Республиканском центре по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды (имеется акт внедрения в ГУ «Брестский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»), подразделениях МЧС Республики Беларусь для задач мониторинга и прогнозирования наводнений на реках;
- в страховых организациях при оценке возможного ущерба, нанесенного паводками и наводнениями объектам народного хозяйства;
- в проектно-изыскательских организациях, занимающихся проектированием мелиоративных систем (имеется акт внедрения в ОАО «Полесьегипроводхоз») и кадастровых агентствах для определения степени риска использования земельных участков;
- в учреждениях образования при изучении машинной графики (имеется акт внедрения в УО «Брестский государственный технический университет»).

Подана заявка на изобретение «Способ прогнозирования расходов воды весенних половодий», № а 20180213, МПК G06N 3/02.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в научных изданиях в соответствии с п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь

1. Распределенная электронно-информационная система мониторинга и прогнозирования паводка / А. Ф. Козак, Д. А. Костюк, Ю. А. Кузавко, Д. О. Петров // Вестник БрГТУ. «Физика, математика, информатика». – 2008. – № 5 (53). – С. 104–106.

2. Модуль расчета затопления территории для системы мониторинга и прогнозирования паводка / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров, Н.Н. Шешко // Вестник БрГТУ. «Физика, математика, информатика». – 2011. – № 5 (71). – С. 43–45.

3. Розрахунок затоплення території для системи моніторингу і прогнозування паводку / А. Волчек, Д. Костюк, Д. Петров, Н. Шешко // Електроніка та інформаційні технології : зб. наук. пр. / Львів. нац. ун-т ім. Івана Франка. – Львів, 2012. – Вип. 2. – С. 178–183.

4. Геометрична візуалізація зони затоплення для системи моніторингу і прогнозування паводку / В. В. Вишнівський, О. О. Волчек, Д. О. Костюк, Д. О. Петров // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2016. – № 2. – С. 27–32.

5. Волчек, А. А. Алгоритм вычисления границ области затопления для речной сети с моделированием распространения воды по растровому представлению рельефа / А. А. Волчек, Д. А. Костюк Д. О. Петров // Доклады БГУИР. – 2016. – № 5 (99). – С. 73–78.

6. Волчек, А. А. Оценка водного эквивалента снега по данным пассивного микроволнового сканирования земной поверхности с использованием искусственных нейронных сетей для территории Российской Федерации / А.А. Волчек, Д.А. Костюк, Д.О. Петров // Лед и Снег. – 2016. – Т. 56, № 1. – С. 43–51.

Статьи в других изданиях

7. К вопросу моделирования и прогнозирования паводковой ситуации на мелиорированных землях / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров, Н. Н. Шешко // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. / ФГБОУ ВПО РГАТУ. – Москва ;Рязань : ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2012. – Вып. 5. – С. 112–116.

8. Автоматизированная визуализация паводковой ситуации / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров, Н. Н. Шешко // Природнае асяроддзе Палесся:

асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. прац / Палес. аграрна-экал. ін-т НАН Беларусі. – Брэст : Альтернатива, 2013. – Вып. 6. – С. 5–7.

9. Петров, Д. О. Программный модуль анализа накопления снега для системы мониторинга и прогнозирования паводка / Д. О. Петров // Вестник БрГТУ. «Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология». – 2014. – № 2 (86). – С. 134–137.

10. Классификация гидрографов весеннего половодья на основе анализа функции плотности распределения объема стока (на примере р. Припять) / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров, Н. Н. Шешко // Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. прац / Палес. аграрна-экал. ін-т НАН Беларусі. – Брэст: Альтернатива, 2015. – Вып. 8. – С. 15–19.

Материалы конференций

11. Electronic system of flood monitoring and visualization / A. Volchek, A. Kozak, D. Kostiuk, D. Petrov // Hydrology: from research to water management. XXVI Nordic hydrological conference, Riga, Latvia, August 9–11, 2010 / University of Latvia. – Riga : University of Latvia Press, 2010. – P. 66–68.

12. Волчек, А. А. К вопросу расчета затопления для системы мониторинга и прогнозирования паводка / А. А. Волчек, Д. А. Костюк Д. О. Петров // Научно-технические проблемы водохозяйственного и энергетического комплекса в современных условиях Беларуси: материалы междунар. науч.-практ. конф., Брест, 21–23 сент. 2011 г. / БрГТУ. – Брест : Изд-во БрГТУ, 2011. – С. 27–30.

13. Распределенная сетевая система отслеживания паводковой ситуации / А. А. Волчек, В. Ю. Коваленко, Д. А. Костюк, Д. О. Петров, Н. Н. Шешко // Проблемы природопользования: итоги и перспективы : материалы междунар. науч. конф., Минск, 21–23 ноября 2012 г. / НАН Беларусі. – Минск : Минсктиппроект, 2012. – С. 123–127.

14. Волчак, А. А. Выкарыстанне картаграфічных дадзеных праекта OPENSTREETMAP у прыкладных праграмах ГІС / А. А. Волчак, Д. А. Касцюк, Д. О. Пятроў // Матэрыялы Міжнародной навукова-практычнай канферэнцыі «FOSS Lviv 2013», Львів, 18–21 квітня 2013 р. / Львів. нац. ун-т ім. Івана Франка. – Львів, 2013. – С. 129–132.

15. Определение интенсивности снеготаяния по территории трансграничных водосборов Республики Беларусь на основе данных пассивного микроволнового сканирования поверхности земли / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров, Н. Н. Шешко // Актуальные научно-технические и экологические

проблемы сохранения среды обитания : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., Брест, 25–27 сент. 2013 г. / Брестск. гос. техн. ун-т; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест, 2013. – С. 90–93.

16. Волчек, А. А. Подход к построению зоны затопления для речной сети / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров // Информационные технологии и системы 2013 (ИТС 2013) : материалы междунар. науч. конф., Минск, 23 окт. 2013 г. / БГУИР. – Минск : БГУИР, 2013. – С. 338–339.

17. Snow storage formation specifics for the Neman river basin / A. Volchak, N. Sheshko, Dm. Kostiuk, Dm. Petrov // 7th Study Conference on Baltex : conference proceedings, Borgholm, Island of Öland, Sweden, 10–14 June 2013 / ed. by M. Reckermann and S. Köppen. – Borgholm, 2013. – P. 39–40.

18. Determination of the snow melting intensity in nowadays climate conditions by example of the Neman river basin / A. Volchak, D. Kostiuk, D. Petrov, N. Sheshko // 2nd International conference on Climate Change – The environmental and socio-economic response in the Southern Baltic region, Szczecin, Poland, 12–15 May 2014. – Szczecin, 2014. – P. 37–38.

19. Волчек, А. А. Оценка снегозапасов в поле по данным спутниковой информации / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства : сб. тр. науч. чтений, Рязань, РФ, 9–11 нояб. 2014 г. / ФГБОУ ВПО РГТУ. – Рязань : ФГБОУ ВПО РГТУ, 2014. – Вып. 11. – С. 29–33.

20. Волчек, А. А. Построение зоны затопления для речной сети с элементами моделирования распространения воды по рельефу / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров // Тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. «Морские исследования и образование: MARESEDU-2015», Москва, 19–24 окт. 2015 г. / МГУ. – Москва : Феория, 2015. – С. 445–448.

21. Volchek, A Flood zone modeling for a river system relying on the water spread over a terrain / A. Volchek, D. Kostiuk, D. Petrov // Joint regional climate system modeling for the European sea regions: HyMex-Baltic Earth Workshop, programme, abstracts, participants, Rome, Italy, 5–6 November 2015 / Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA). – Rome, 2015. – P. 94–95.

22. Использование климатических данных в задаче нейросетевого прогнозирования половодий [Электронный ресурс] / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров, Н. Н. Шешко, // Технологии информатизации и управления ТИМ-2016: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 14–15 апр. 2016 г. / ГУО «Институт повышения квалификации и переподготовки в

области технологий информатизации и управления» Белорусского государственного университета. – Минск, 2016. – 1 электр. компакт диск (CD R).

23. Система расчета и визуализация зон затопления на основе клеточного автомата / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров, Н.Н. Шешко // Актуальные проблемы наук о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году науки в Респ. Беларусь, Брест, 25–27 сент. 2017 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. К. Карабанов [и др.] ; науч. ред. А. К. Карабанов, М. А. Богдасаров. – Брест: БрГУ, 2017. – Ч. 2. – С. 145–148.

24. Волчек, А. А. Опыт прогнозирования весенних наводнений с использованием спутниковой информации о снеготопках на речном водосборе / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров // Водные ресурсы и климат : материалы V Междунар. Водного Форума, Минск, 5–6 окт. 2017 г. : в 2 ч. / БГТУ. – Минск: БГТУ, 2017. – Ч. 2. – С. 197–201.

25. Программный комплекс мониторинга паводковой ситуации на речной сети / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров, Н. Н. Шешко // Информационные технологии и системы 2017 (ИТС 2017) : материалы междунар. науч. конф., Минск, 25 окт. 2017 г. / БГУИР. – Минск : БГУИР, 2017. – С. 268–269.

26. Петров, Д. О. Спутниковый мониторинг содержания воды в снежном покрове для прогнозирования весенних половодий / Д.О. Петров // Мониторинг техногенных и природных объектов: сб. материалов междунар. научн.-техн. конф., Минск, 30 нояб. – 1 дек. 2017 г. / БГУИР ; редкол.: М. П. Батура [и др.]. – Минск : БГУИР, 2017. – С. 35–42.

Тезисы докладов

27. Волчек, А. А. Расчет затопления территорий для системы мониторинга и прогнозирования паводка / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров // Сахаровские чтения 2011 года: экологические проблемы XXI века : материалы 11-й междунар. науч. конф., Минск, 19–20 мая 2011 г. / МГЭУ им. А. Д. Сахарова. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011. – С. 318.

28. Система расчета и визуализации зон затопления для задач мониторинга и прогнозирования паводка / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров, Н. Н. Шешко // Промышленная экология : тез. докл. науч.-техн. конф, Минск, 13–14 сент. 2012 г. / БНТУ. – Минск : БНТУ, 2012. – С. 22.

РЕЗЮМЕ

Петров Дмитрий Олегович

Алгоритмическое и программное обеспечение прогнозирования наводнений на равнинных реках

Ключевые слова: прогнозирование наводнений, затопление территории, геометрический расчет, снегозапасы, радиотепловое сканирование, гидрометеорологический мониторинг, искусственная нейронная сеть, клеточный автомат.

Цель работы: разработка методик, алгоритмов и программного обеспечения для моделирования и прогнозирования наводнений на равнинных реках.

Методы исследования и использованная аппаратура: компьютерное моделирование и вычислительный эксперимент с использованием клеточных автоматов и искусственных нейронных сетей, измерения климатических данных автоматическими гидрометеорологическими станциями, спутниковые радиотепловые измерения.

Полученные результаты и их новизна: разработан алгоритм расчета зоны затопления поймы бесприточного участка реки, отличающийся от аналогов гарантированным отсутствием ошибочного включения в расчетную зону затопления изолированных впадин рельефа местности при невысоких вычислительных требованиях, что достигается представлением зеркала поднявшейся воды упрощенной сеточной триангуляционной поверхностью и моделированием распространения воды по двумерному матричному представлению ландшафта.

Разработан алгоритм расчета зоны затопления поймы фрагмента разветвленной речной сети, использующий клеточный автомат, который моделирует распространение поднявшейся воды по цифровой матричной модели рельефа поймы реки, отличаясь автоматическим сопряжением моделей поверхности воды разных водотоков и возможностью настройки характера растекания воды.

Исследована адекватность применения эмпирических зависимостей для определения содержания воды в тающем снежном покрове трансграничных водосборов рек Беларуси при обработке данных спутниковых радиотепловых измерений. Впервые показана возможность повышения точности вычисления водного эквивалента снежного покрова путем нейросетевого анализа данных спутниковых радиотепловых измерений.

Предложена методика прогнозирования развития половодья на основе применения искусственных нейронных сетей для многофакторного анализа, отличающийся использованием следующих параметров: измерений расхода воды в створе речной сети, выпавших осадков, а также оценок содержания воды в снежном покрове на водосборе реки, получаемых в результате обработки данных спутниковых радиотепловых измерений.

Область применения: мониторинг и прогнозирование наводнений на реках.

РЭЗЬЮМЭ

Пятроў Дзмітрый Алегавіч

Алгарытмичнае і праграмнае забеспячэнне прагназавання паводкаў на раўнінных рэках

Ключавыя словы: прагназаванне паводкаў, затапленне тэрыторыі, геаметрычны разлік, снегазапасы, радыё-цеплавае сканаванне, гидраметэарагічны маніторынг, штучная нейронная сетка, клеткавы аўтамат.

Мэта працы: разпрацоўка метадык, алгарытмаў і праграмнага забеспячэння для мадэлявання і прагназавання паводкаў на раўнінных рэках.

Метады даследавання і выкарыстаная апаратура: камп'ютарнае мадэляванне і вылічальны эксперымент з выкарыстаннем клеткавых аўтаматаў і штучных нейронных сетак, вымярэння кліматычных дадзеных аўтаматычнымі гидрометэаралагічнымі станцыямі, спадарожнікавыя радыё-цеплавыя вымярэнні.

Атрыманыя рэзультаты і іх навізна: распрацаваны алгарытм разліку зоны затаплення поймы беспрывочнага ўчастка ракі, адрозніваючыся ад аналагаў гарантэаванай адсутнасцю ілжывага затаплення ізаляваных западзін рэльефу мясцовасці і невялікімі вылічальнымі патрабаваннямі, што дасягаецца коштам прадстаўлення люстэрка вады спрошчанай сеткавай трыангуляцыйнай паверхняй з мадэляваннем расцякання вады па двухвымяровай мадэлі мясцовасці ў выглядзе матрыцы.

Распрацаваны алгарытм разліку зоны затаплення поймы фрагмента разгалінаванай рачной сеткі, які карыстаецца клеткавым аўтаматам для мадэлявання распаўсюджвання паводка па лічбавай матрычнай мадэлі мясцовасці, адрозніваецца аўтаматычным спалучэннем мадэлей паверхні вады, якія ставяцца да розных вадатокаў і дазваляе наладжваць характарыстыку расцякання вады.

Даследавана адэкватнасць прымянення эмпірычных залежнасцяў для выяўлення змен наяўнасці вады ў снезе на трансгранічных водазборах рэк Беларусі пры апрацоўцы дадзеных спадарожнікавых радыё-цеплавых вымярэнняў. Упершыню паказана магчымасць павелічэння дакладнасці вылічэння воднага эквівалента снега шляхам нейрасеткавага аналіза дадзеных спадарожнікавых радыё-цеплавых вымярэнняў.

Запрапанавана метадыка прагназавання развіцця разводдзя на аснове выкарыстання штучных нейронавых сетак для шматфактарнага аналізу наступных параметраў: гідралагічных вымярэнняў расходу вады ў створы рачной сеткі, выпаўшых ападкаў і дадзеных аб наяўнасці вады ў снезе на водазборнай плошчы ракі, атрыманых ў выніку апрацоўкі дадзеных спадарожнікавых радыё-цеплавых вымярэнняў.

Галіна ўжывання: маніторынг і прагназаванне паводкаў на рэках.

RESUME

Piatrou Dzmitry Alegavich

Algorithms and software for the lowland river flood forecasting

Keywords: flood forecasting, inundation of the territory, geometric calculation, snow water equivalent, passive microwave remote sensing, hydrometeorological monitoring, artificial neural network, cellular automaton.

Purpose of the work: design of methods, algorithms and software for modeling and forecasting floods on lowland rivers.

Methods of the research and used equipment: computer modelling and computational experiment using cellular automata and artificial neural networks, direct measurement of climatic data by automatic hydrometeorological stations, multi-band satellite radio-thermal measurements of Earth surface usage.

Obtained results and their novelty: an algorithm was developed for calculating the flooded area of the floodplain of a solitary section of the river. The algorithm differs from analogues by the guaranteed absence of erroneous inclusion of isolated cavities of the terrain relief into the calculated flooding zone at low computational requirements, achieved by representing the raised water by a simplified grid triangulation surface and modeling the water spreading over a two-dimensional matrix representation of the landscape.

An algorithm has been developed for calculating the flood zone of a floodplain of an extensive river network using a cellular automaton that simulates the rising water distribution using a digital model of the river floodplain, represented by an elevation matrix, characterized by automatic conjugation of water surface models of different watercourses and the ability to customize the effect of the water spreading for empirical consideration of the underlying surface.

The adequacy of the empirical regression dependencies usage to determine changes in the water content in the melting snow cover of the trans-boundary catchment areas of the Belarussian rivers by means of the multi-band satellite radio-thermal measurements processing has been investigated. The possibility to increase the accuracy of the water equivalent of snow cover calculating by means of the neural network analysis of the multi-band satellite radio-thermal measurements data has been proven for the first time .

A technique, based on the artificial neural networks usage for multivariate analysis of the following parameters: hydrological measurements of water flow in the river network, rainfall, and estimates of water content in snow cover in the catchment area of the river, obtained as a result of multi-band data satellite radiothermal measurements processing is proposed to predict the development of a high water.

Scope: monitoring and forecast of floods on the rivers.