

## Физико-географические исследования

УДК 556.06

*А.Н. Шихов*

### ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АНОМАЛЬНО ВЫСОКОГО ПОЛОВОДЬЯ В БАССЕЙНЕ ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2016 г.<sup>1</sup>

Работа посвящена особенностям аномально высокого половодья на реках бассейна Воткинского водохранилища весной 2016 г. Изучение данного случая представляет особый интерес в контексте изменений климата, поскольку условия его формирования значительно отличались от всех ранее наблюдавшихся наводнений на реках региона. Описаны исходные данные и методические подходы, использованные для исследования. Расчет пространственного распределения снеготаяния и интенсивности снеготаяния проведен средствами ГИС-технологий, с применением как фактических данных метеостанций, так и мезомасштабной модели атмосферы WRF. Выполнено сравнение методов расчета снеготаяния и обозначены зоны аномально высокого снеготаяния в 2016 г. Описаны особенности пространственного распределения осадков в период снеготаяния, а также приведена краткая характеристика погодных условий, способствовавших интенсивному поступлению воды на водосборы. Определены особенности формирования половодья на р. Иньве в черте Кудымкара, где был зафиксирован исторический максимум уровня воды. Показано, что формирование экстремально высокого наводнения в Кудымкаре было обусловлено редким сочетанием природных факторов.

*Ключевые слова:* опасные гидрологические явления, половодье, снеготаяние, весенние осадки, бассейн Воткинского водохранилища.

Весеннее половодье является наиболее характерной фазой водного режима рек восточной части Европейской России и Урала, в том числе бассейна Воткинского водохранилища. На период половодья приходится 60–70 % годового стока рек данной территории [1]. Высокие весенние половодья, сопровождающиеся затоплением обширных территорий, нарушают нормальную работу многих отраслей экономики. Проблема их заблаговременного и надежного прогнозирования решена не окончательно.

На большинстве равнинных рек бассейна Камы наиболее высокие уровни воды за период инструментальных наблюдений зафиксированы весной 1914 и 1979 гг., на реках Северного Урала – в 1952 и 2004 гг. [1]. В большинстве случаев формирование высоких пиков половодья было обусловлено сочетанием нескольких факторов. В работе «Природные опасности России» [2] проведена типизация условий, при которых на реках Европейской части России формируются высокие пики половодья и возможны масштабные наводнения. Большинство случаев высоких половодий на реках бассейна Воткинского водохранилища (в частности, наблюдавшиеся в 1979, 1987 и 1998 гг.) относится к первому из выделенных 4-х типов. Основным фактором их формирования было преобладание аномально холодной погоды в апреле с последующим резким повышением температуры и интенсивным таянием снега на фоне накопленного избыточного снеготаяния. Пик половодья проходил позже среднесезонных сроков. Также в большинстве случаев формированию высокого половодья предшествовала холодная зима [3].

На фоне происходящих изменений регионального климата наблюдаются изменения и в гидрологическом режиме рек, в том числе в условиях формирования высоких пиков половодья. Подтверждением этого стало аномально высокое половодье на реках бассейна Воткинского водохранилища, наблюдавшееся весной 2016 г. Его формированию предшествовала аномально теплая и влажная погода как в период снеготаяния в 2016 г., так и в течение всего холодного периода 2015–2016 гг., который также характеризовался минимальным промерзанием почвы. В целом условия формирования высокого пика половодья в 2016 г. не имеют аналогов в истории наблюдений.

В период прохождения половодья 2016 г. было подтоплено более 800 домов в 20 населенных пунктах Пермского края, в 8 муниципальных образованиях Пермского края был введен режим ЧС. На гидропостях Иньва – Кудымкар, Обва – Карагай, Коса – Усть Коса и Кама – Гайны уровень воды превышал отметку, при которой наблюдается опасное гидрологическое явление. На ряде других гидропостов уровень воды превышал отметку неблагоприятного явления. Наиболее значительное пре-

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 14-05-00317-А.

вышение опасной отметки зафиксировано в Кудымкаре. На гидропосту Кудымкар 19 апреля отмечен абсолютный максимум уровня воды 642 см над нулем поста, что на 30 см выше, чем в 1979 г. Данные о максимальных зафиксированных уровнях воды на гидропостах приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Максимальные уровни воды на некоторых гидропостах на водосборе  
Воткинского водохранилища [4]**

Гидропост	Максимальный уровень воды весной 2016 г., см	Максимальный уровень воды за всю истории наблюдений, см
Коса – Усть-Коса	680 (25.04.2016г.)	734 (09.05.1979г.)
Иньва – Кудымкар	642 (19.04.2016г.)	612 (02.05.1979г.)
Иньва – Купрос	690 (21.04.2016г.)	700 (04.05.1979г.)
Обва – Карагай	547 (19.04.2016г.)	584 (08.04.194г.)
Чусовая – Лямино	594 (19.04.2016г.)	670 (10.05.1979г.)
Сылва – г. Кунгур	620 (21.04.2016г.)	709 (09.05.1979г.)

Сложная паводковая ситуация весной 2016 г. ожидалась еще по долгосрочному прогнозу Уральского УГМС, выданному в декабре 2015 г. Однако в краткосрочном прогнозе опасные гидрологические явления были предусмотрены лишь по факту достижения уровней воды, близких к максимальным (на реках Иньве, Обве, Сылве и Ирени). Сложность краткосрочного прогнозирования отметок максимального уровня воды и времени прохождения пика половодья обусловлена как дефицитом оперативной информации (в связи с низкой плотностью наблюдательной гидрометеорологической сети и нерепрезентативностью данных снегомерных съемок), так и неопределенностью численных прогнозов осадков.

В настоящей статье представлены результаты исследования условий формирования аномально высокого половодья на реках бассейна Камского водохранилища весной 2016 г., которые могут быть использованы для повышения успешности прогноза подобных явлений в будущем. Отдельно рассмотрены особенности формирования пика половодья на р. Иньве в г. Кудымкаре, где в этот период было затоплено 452 дома и зафиксирован наибольший материальный ущерб.

### Материалы и методика исследований

Для исследования условий формирования высокого половодья 2016 г. были использованы следующие исходные материалы:

- данные метеорологических наблюдений 37 метеостанций сети Росгидромета (из которых 26 расположены в пределах водосбора Воткинского водохранилища), в том числе снегомерных съемок на 14 полевых и 15 лесных снегомерных маршрутах;
- данные наблюдений гидропостов Уральского УГМС за расходами и уровнями воды в реках;
- данные о подстилающей поверхности (цифровая модель рельефа водосбора на базе глобальной матрицы высот GMTED2010 и карта типов подстилающей поверхности, созданная на основе космических снимков Terra MODIS);
- данные космического мониторинга (снимки со спутников Terra/Aqua MODIS и LANDSAT-8, полученные в период прохождения половодья).

Одной из ключевых задач при прогнозировании весеннего стока является корректный расчет пространственного распределения снеготпасов. Имеющиеся данные снегомерных съемок на водосборе Воткинского водохранилища сложно использовать для детальной оценки снеготпасов на водосборах, вследствие небольшого числа снегомерных маршрутов и нерепрезентативности многих из них (в первую очередь в горной части водосбора). Поэтому пространственное распределение снеготпасов рассчитывалось на основе данных об осадках, а данные снегомерных съемок использовались для валидации результатов.

Для расчета снеготпасов, наряду с фактическими данными наблюдений, были использованы также прогностические поля метеозлементов по мезомасштабной численной модели прогноза погоды WRF (Weather Research and Forecasting) с динамическим ядром ARW (WRF-ARW). Описание данной модели приведено в работе [5]. Высокая надежность и пространственная детализация прогноза осадков

в холодный период года является основным фактором, определяющим возможность использования данной модели (как и других мезомасштабных моделей прогноза погоды) для расчета снегов запасов на водосборах со сложным рельефом, редкой сетью метеонаблюдений и снегомерных съемок [6-10].

Расчет максимальных запасов воды в снежном покрове на водосборах производился с применением двух различных методик:

Путем интерполяции данных наблюдательной сети о количестве осадков, выпавших за холодный период, с учетом фазы осадков и снеготаяния при оттепелях. Известно, что количество твердых осадков по данным метеостанций занижается вследствие выдувания из осадкомера (по данным [11], это занижение составляет до 30 % и более). В связи с этим при расчете снегов запасов по станционным данным об осадках использовалось предположение о том, что выдувание и испарение со снежного покрова частично компенсируют друг друга, и расчет испарения не производился. Интерполяция сумм осадков выполнялась по методике, предложенной В.А. Шутовым [12]. Вертикальный градиент количества осадков был принят равным 10 %/100 м высоты. Также вводились поправки на тип подстилающей поверхности для приближенного учета процесса перехвата осадков и их последующего испарения с крон деревьев. Более подробное описание данной методики приведено в работе [1].

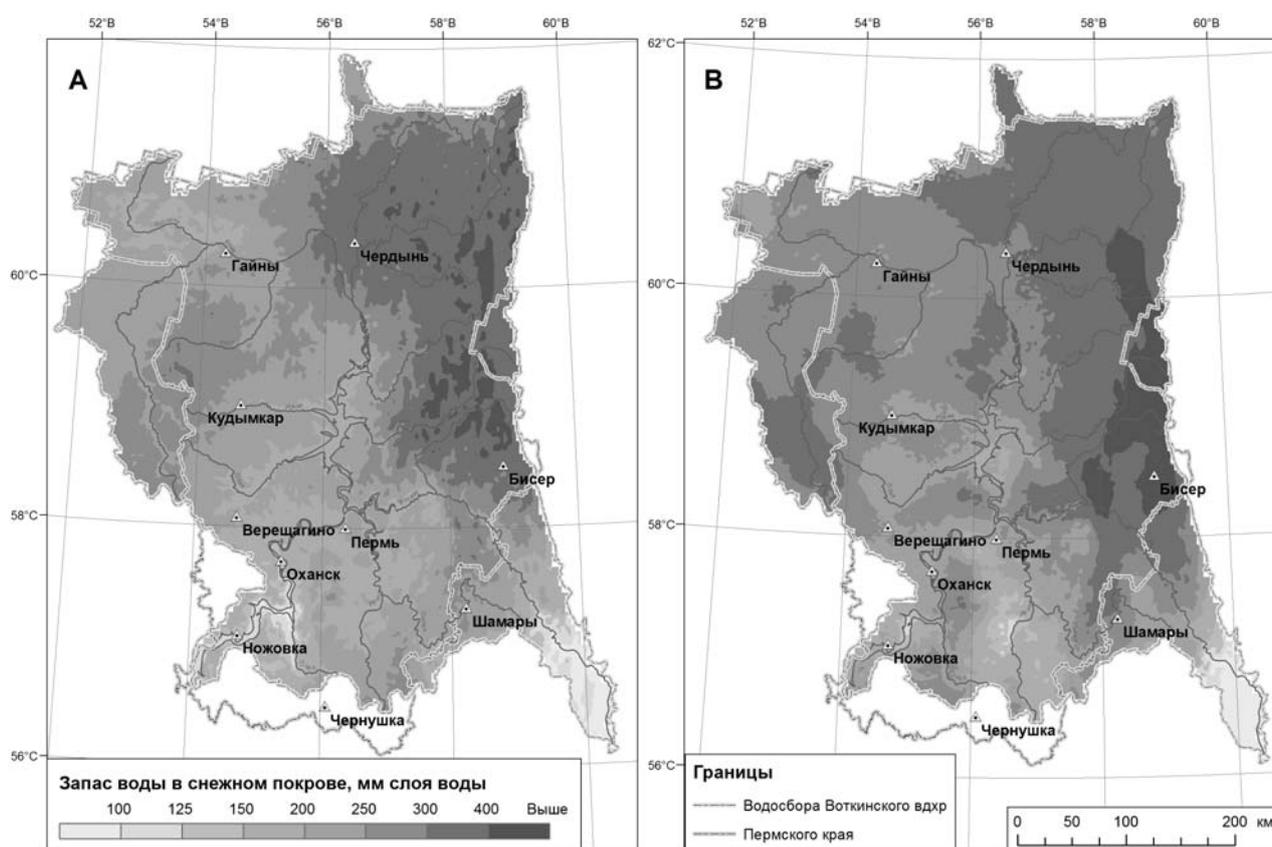


Рис. 1. Запас воды в снежном покрове на 25.03.2016 г., рассчитанный по данным станционных наблюдений (А) и по данным модели WRF (В)

Путем моделирования процесса формирования снежного покрова на базе ежедневных прогностических сумм твердых и жидких осадков, полученных по данным мезомасштабной модели атмосферы WRF. Запуск модели WRF производился на вычислительном кластере Пермского государственного университета с горизонтальным шагом сетки, равным 10 км. Все дальнейшие расчеты были выполнены средствами ГИС-технологий (использовались инструменты «растровой алгебры» в геоинформационной системе ArcGis 10.1) с использованием цифровой модели рельефа и данных о типах растительного покрова. В расходной составляющей баланса снежного покрова учитывалось снеготаяние при оттепелях, испарение с поверхности снежного покрова (интенсивность которого зависит от дефицита влажности воздуха и скорости ветра), и испарение твердых осадков, перехваченных растительностью. Интенсивность снеготаяния рассчитывалась по температурному коэффициенту стаи-

вания, а интенсивность испарения с поверхности снега – по формуле Кузьмина [13]. Для оценки перехвата осадков и испарения с поверхности снежного покрова использовались данные о листовом индексе LAI. Более подробное описание использованной методики расчета снегонакопления представлено в работах [6-7; 14].

Максимальный запас воды в снежном покрове на водосборе Воткинского водохранилища сформировался к 25 марта. Результаты его расчета по двум разным методам представлены на рис. 1.

Расчет пространственного распределения интенсивности снеготаяния реализован средствами ГИС-технологий на основе двух методов: метода П.П. Кузьмина [13], и температурных коэффициентов стаивания. Метод Кузьмина позволяет определить составляющие теплового баланса снежного покрова на основе данных стандартных сетевых метеонаблюдений и расчетных сумм приходящей солнечной радиации (с учетом облачности). Более подробное описание его реализации представлено в работах [6; 7]. При реализации упрощенного расчета на основе температурных коэффициентов стаивания учитываются только данные о среднесуточной температуре воздуха, высоте местности и типах растительного покрова. Результаты расчета динамики схода снежного покрова по двум разным методам представлены на рис. 2.

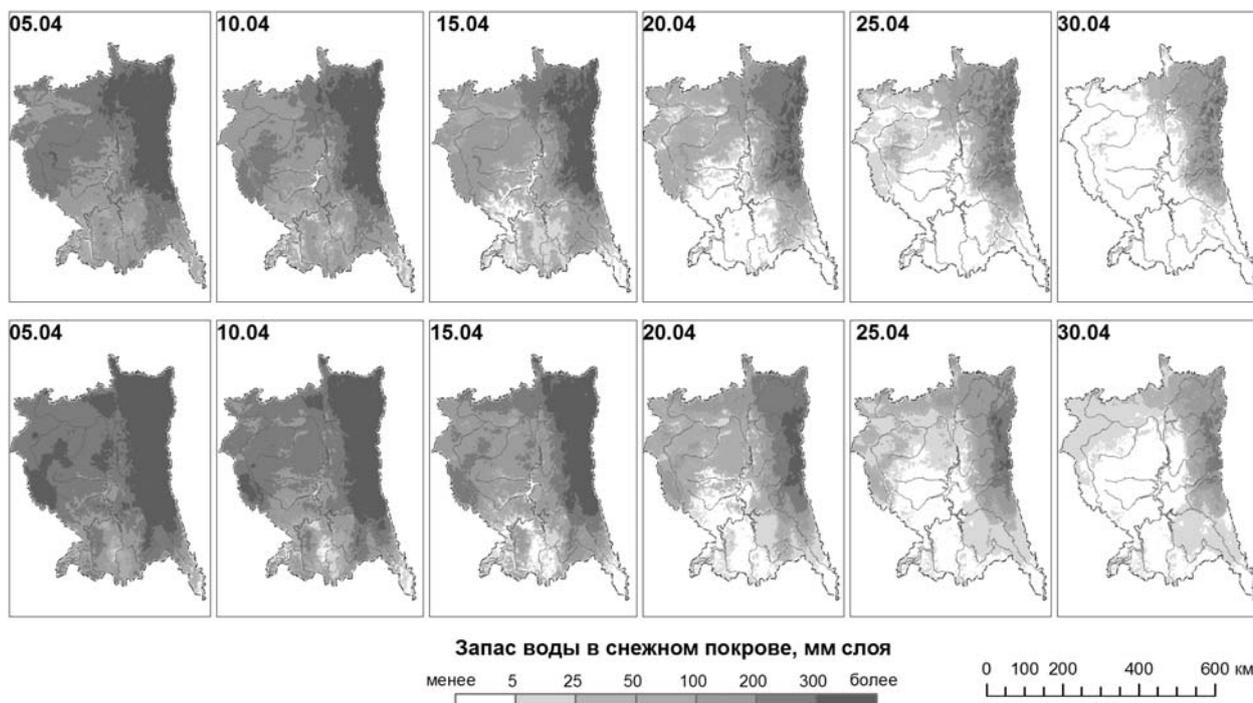


Рис. 2. Динамика снеготаяния весной 2016 г. на водосборе Воткинского водохранилища: в верхнем ряду – расчет по температурным коэффициентам стаивания, в нижнем ряду – расчет по методу П.П. Кузьмина

## Результаты и их обсуждение

### *Особенности распределения осадков и процесса снегонакопления в холодный период 2015 г.*

Одной из основных причин формирования высокого пика половодья весной 2016 г. был значительный избыток осадков на водосборе Воткинского водохранилища, наблюдавшийся в течение всей второй половины 2015 г. и сохранявшийся зимой 2016 г. В ряде случаев месячные суммы осадков превышали норму в 2–3 раза (в июле 2015 г. – по южной части водосбора, в августе 2015 г. – по центральным районам, в октябре 2015 г. – по восточным и юго-восточным районам). Это привело к сильному переувлажнению почвы. В результате приток воды в Камское водохранилище превышал норму на 40–70 % в течение всего холодного периода 2015–16 гг.

Избыток осадков на водосборе Воткинского водохранилища сохранялся с ноября 2015 г. по март 2016 г. Месячные суммы осадков были либо близки к норме, либо превышали ее, в ряде случаев в 1,5–2 раза. Формирование устойчивого снежного покрова в северной и горной части водосбора

произошло 8–9 октября, что на 2–3 недели раньше средних многолетних сроков. Такое раннее установление снежного покрова последний раз наблюдалось в 2001 г. Уже к 13 октября высота снежного покрова достигала 20–30 см. В октябре 2016 г. количество осадков в горной части водосбора составило 100–160 мм, а среднемесячная температура  $-2...-5^{\circ}$ . В основном осадки выпадали в виде снега. В результате уже к концу октября запас воды в снеге составлял 50–100 мм (наибольший расчетный снегозапас наблюдался в районе Бисера). На равнинной части водосбора снегозапас к концу октября был в основном незначительным, за исключением северных районов, где достигал 40–70 мм. Снежный покров установился повсеместно, за исключением юго-западной части водосбора.

В ноябре количество осадков на большей части водосбора было близко к норме или на 20–30 % превышало ее. Устойчивый снежный покров повсеместно сформировался к 10 ноября, в дальнейшем наиболее интенсивный прирост снегозапасов наблюдался по северным и горным районам. В декабре 2015 г. количество осадков вновь превысило норму по всей площади водосбора, на западных склонах Среднего Урала выпало до 100 мм осадков. Распределение осадков в декабре 2016 г., было аналогичным октябрю 2015 г. В результате наибольшее превышение нормы по снегозапасам наблюдалось к концу декабря на западных склонах Среднего Урала. На остальной территории водосбора снегозапас превышал норму не более чем в 1,5 раза, а по югу местами был меньше нормы, в связи с интенсивными оттепелями в декабре. В целом за счет раннего начала снегонакопления и большого количества осадков, средний снегозапас по состоянию на 31.12.2015 г. по водосбору Воткинского водохранилища был в 1,6 раза больше, чем в конце 2014 и 2013 гг.

В январе 2016 г. распределение осадков существенно изменилось: по восточной части водосбора их было около и меньше нормы, по западной – больше нормы в 1,5 – 2 раза. В результате к концу января 2016 г. запас воды в снежном покрове на водосборах Иньвы, Обвы, Косы и Верхней Камы также существенно превысил норму. В феврале количество осадков на большей части водосбора было близко к норме, местами по центральным районам превысило норму в 1,5 раза. В марте наибольшее количество осадков выпало по южным и восточным районам (150–200 % от нормы). На остальной территории количество осадков в марте было близким к норме.

Максимальный запас воды в снежном покрове практически повсеместно сформировался к 25 марта. Наибольшее превышение нормы снегозаписа наблюдалось в бассейнах рек Иньвы, Косы и Верхней Камы, а также на Среднем Урале в районе Бисера. При этом на Северном Урале в бассейне Вишеры запас воды в снеге был существенно меньше, чем в 2015 г. Средний снегозапас по состоянию на 31.03.2016 г. был на 30–50 % больше, чем в 2013–2016 гг. (рис. 3).

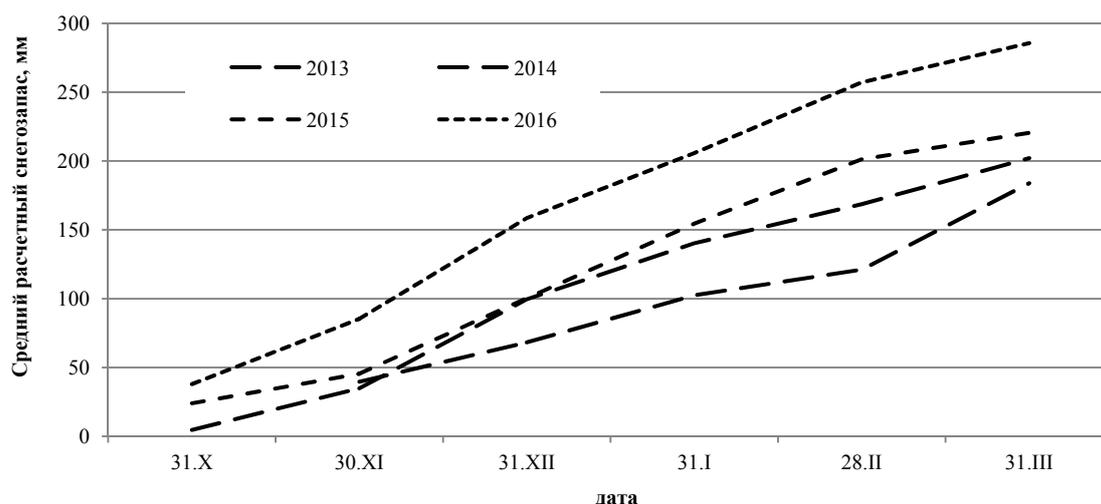


Рис. 3. Сравнение динамики снегонакопления (в среднем по бассейну Воткинского водохранилища) за 2013–2016 гг. на основе расчетов по модели WRF

**Особенности процесса снеготаяния в апреле 2016 г.** Процесс снеготаяния в апреле 2016 г. протекал на фоне преобладания положительной аномалии температуры воздуха и значительного количества осадков. В южной части водосбора снеготаяние началось 27–28 марта с выпадением обильных осадков (до 17 мм) при температуре  $+2...+4^{\circ}$ . В период 1–13 апреля преобладала умеренно теп-

лая погода с высокой влажностью, значительным количеством осадков и максимальной температурой в дневные часы  $+4...+11^{\circ}$ . В этих условиях испарение со снежного покрова было минимальным. К 13 апреля снежный покров сохранялся на 90 % площади водосбора Воткинского водохранилища, в реках бассейнов Сылвы, Тулвы, Обвы и Чусовой начался значительный подъем уровня воды.

В период 14–17 апреля наблюдалась интенсивная волна тепла с температурой на  $6–12^{\circ}$  выше климатической нормы и высокой влажностью воздуха (температура точки росы  $+5...+9^{\circ}$ ), что способствовало увеличению интенсивности снеготаяния. В среднем по площади водосбора снеготаяние уменьшилось более чем на 40 % за 4 сут. Поступление талых вод на водосборы рек составило от 50 до 100 мм за 4 суток (в среднем около 80 мм). Максимум интенсивности снеготаяния наблюдался 17 апреля. С 16 апреля начался резкий подъем уровня воды в большинстве рек, а с 18 апреля – формирование пиков половодья, которое проходило практически одновременно в реках бассейнов Сылвы, Чусовой и правобережных притоков Камы.

19–24 апреля с прохождением через Пермский край атмосферных фронтов трех юго-западных и западных циклонов, наблюдалась преимущественно облачная погода с осадками. Сумма осадков за этот период приблизилась к месячной норме. Температура воздуха при этом оставалась выше климатической нормы на  $2–5^{\circ}$ . Наибольший избыток осадков наблюдался на водосборе Сылвы. К 20 апреля уровень воды в реках Сылве и Ирени в районе г. Кунгура достиг максимума, и в течение последующих трех суток сохранялся на высокой отметке (близко к 10 % обеспеченности). Пики половодья сформировались в этот период на большинстве рек водосбора Воткинского водохранилища, в том числе на горных реках (Усьве, Яйве). К 25 апреля был отмечен максимальный приток воды к Камской ГЭС ( $15700 \text{ м}^3/\text{с}$ ), который на 60 % превысил среднегодовой максимум.

С 25 апреля с установлением антициклонального характера погоды осадки прекратились, температура воздуха понизилась до климатической нормы. К этому времени снежный покров практически полностью сошел с равнинной части водосбора, за исключением Верхнекамской возвышенности и северных районов. В результате уровень воды в большинстве рек достаточно быстро начал снижаться. На Верхней Каме пик половодья сформировался 1–2 мая, с кратковременным подъемом уровня воды до опасной отметки.

**Распределение осадков в период снеготаяния.** Важным фактором, способствовавшим практически одновременному (в период 18–25 апреля) формированию высокого пика половодья на большинстве рек водосбора Воткинского водохранилища, был значительный избыток осадков, выпавших в период снеготаяния. В период наиболее интенсивного снеготаяния с 27 марта по 25 апреля количество осадков на водосборе составило от 40 мм на крайнем северо-западе до 100 мм и более на юге, юго-востоке территории (рис. 4). Для северо-запада территории такое количество осадков близко к норме, в центральных районах составляет 120–180% нормы, а по южным и юго-восточным районам 200–250 % от нормы. В основном осадки выпадали в виде дождя. В период снеготаяния такие интенсивные и продолжительные дожди отмечались впервые в истории наблюдений. Наиболее интенсивные осадки отмечались 27–28 марта (до 19 мм) – по южным и центральным районам, 5–6 апреля (до 24 мм) по восточным районам, 10–11 апреля (до 24 мм) – по центральным районам, 18 апреля (до 18 мм) – по центральным и западным районам, 23 апреля (до 20 мм) по крайнему юго-востоку водосбора.

На рис. 4 распределение осадков показано по данным наблюдательной сети (А) и на основе расчета по модели WRF (В). При интерполяции данных наблюдательной сети использован также высотный градиент, принятый равным 10 %. Основная особенность модельного распределения осадков состоит в завышении их количества по северо-западной части водосбора. В юго-восточной половине территории подобие модельного и фактического поля осадков выражено лучше. В среднем модельное количество осадков завышено относительно фактического на 19%. Такая величина ошибки позволяет использовать эти данные как входные в краткосрочном гидрологическом прогнозе.

**Условия формирования пика половодья на р. Иньва в черте г. Кудымкар 18–19 апреля 2016 г.**

Наибольший материальный ущерб от высокого весеннего половодья 2016 г. был нанесен в г. Кудымкаре, где 19 апреля уровень воды в р. Иньве достиг 642 см, что на 30 см выше прежнего исторического максимума. В результате были подтоплены 452 дома. Условия формирования высокого пика половодья в Кудымкаре в целом идентичны тем, которые наблюдались на остальной территории водосбора Воткинского водохранилища. Наблюдалось редкое сочетание факторов, формирующих экстремальный сток (аномального запаса воды в снежном покрове, сильного осеннего переувлажнения почвы, интенсивного снеготаяния и избытка осадков в апреле).

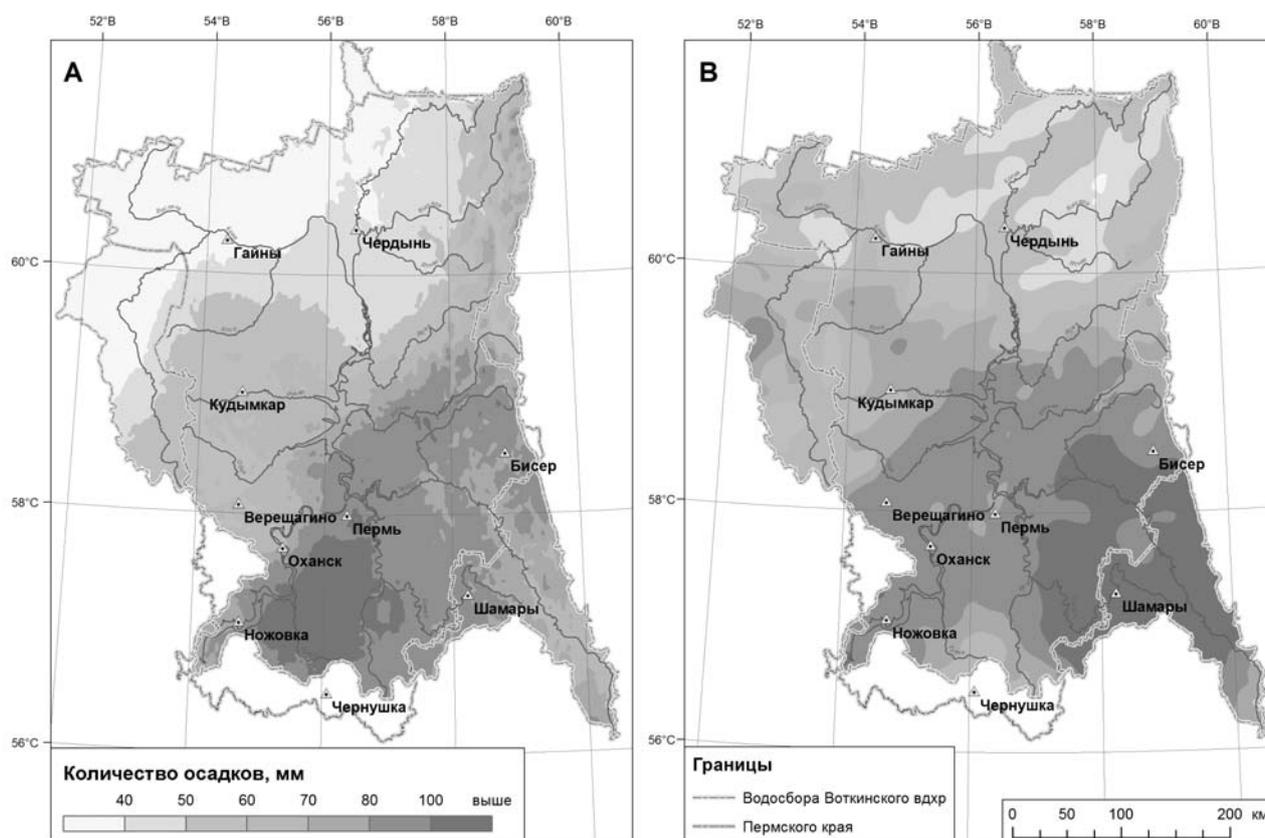


Рис. 4. Распределение осадков в период снеготаяния весной 2016 г. А – результат интерполяции станционных наблюдений, В – по данным модели прогноза погоды WRF

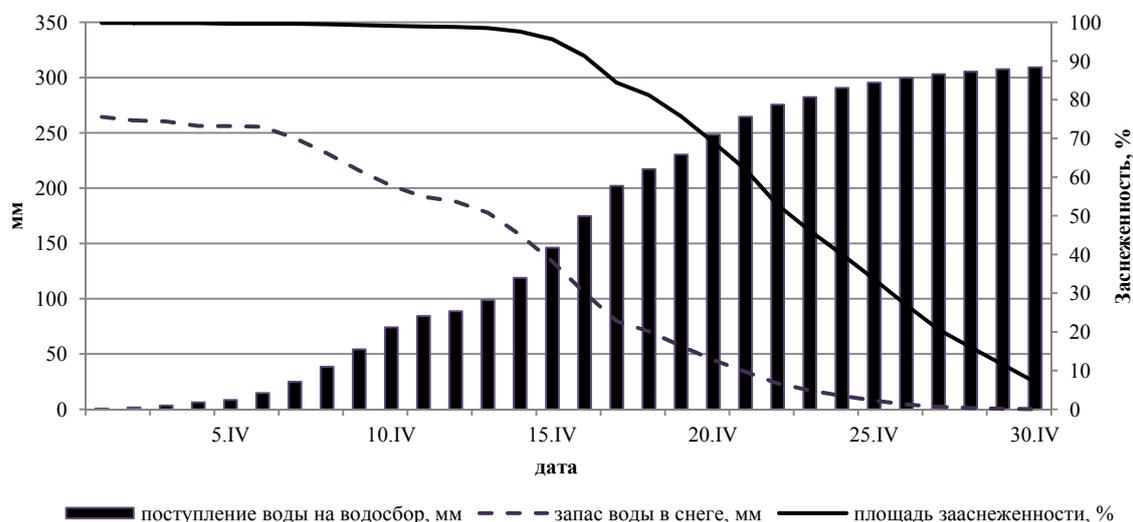


Рис. 5. Динамика снеготаяния и поступления талых вод на водосбор р. Иньва (до г. Кудымкара) в апреле 2016 г.

Максимальный запас воды в снежном покрове на водосборе р. Иньвы к 25.03.2016г. превышал норму приблизительно на 50 %. На Верхнекамской возвышенности к 25 марта снеговзапас превысил 300 мм (рис. 1), что более характерно для территории Северного Урала. До 13 апреля интенсивность снеготаяния была сравнительно низкой, и к моменту начала интенсивного таяния снегом было покрыто более 95 % площади бассейна Иньвы. В результате за 5 суток, с 14 по 18 апреля, слой поступления талых вод и жидких осадков на водосбор составил 118 мм (рис. 5). 16 апреля произошел выход

воды на пойму р. Иньвы в черте города, а к 19 апреля сформировался пик половодья. При этом глубина затопления поймы составила около 1,5 м.

После формирования пика половодья 19 апреля, интенсивные осадки и снеготаяние на Верхнекамской возвышенности способствовали длительному сохранению уровня воды выше неблагоприятной отметки. Границы расчетной зоны затопления в г. Кудымкаре, определенной на основе цифровой модели рельефа, высокодетального космического снимка и съемки с беспилотного летательного аппарата, представлены на рис. 6



Рис. 6. Расчетная зона затопления в г. Кудымкаре при прохождении пика половодья 19.04.2016 г.

## Заключение

В условиях потепления климата (более выраженного в холодный период года) в последние два десятилетия наметилось некоторое снижение величины максимального весеннего стока и повторяемости наводнений на большинстве рек бассейна Воткинского водохранилища (за исключением северных районов). Этот процесс связан, в частности, с уменьшением глубины промерзания почвы, сокращением продолжительности периода снегонакопления, более ранним началом таяния снега. Однако весной 2016 г. высокое половодье сформировалось в нетипичных условиях, после аномально теплой зимы. Главным фактором его формирования был исключительный избыток осадков как в периоды снегонакопления и снеготаяния, так и в несколько предшествовавших месяцев 2015 г., а также резкое повышение температуры воздуха в период снеготаяния. Для краткосрочных прогнозов стока в таких условиях приобретают особую важность детальные прогнозы пространственного распределения осадков на срок 1–3 суток, а также актуальная информация о распределении снегозапасов в районах, не охваченных снегосъемками. Полученные результаты могут быть использованы при краткосрочном прогнозе максимальных уровней воды в реках и притока воды к Камскому и Воткинскому водохранилищам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пьянков С.В., Шихов А.Н. Опасные гидрометеорологические явления: режим, мониторинг, прогноз. Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь. Изд-во ООО «Раритет-Пермь». 2014. 296 с.
2. Природные опасности России: в 6 т. Т.5. Гидрометеорологические опасности / под ред. Г.С. Голицына, А.А. Васильева. М.: Крук, 2004. 296 с.
3. Двинских С.А., Китаев А.Б., Михайлов А.В. Наводнения на реках бассейна Камы и организация защиты от них // География и природные ресурсы. 2010. №4. С. 75-79.
4. Пермский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. URL: <http://meteoperm.ru/> (дата обращения: 27.09.2016).
5. Skamarock W., Klemp J., Dudhia J., Gill D., Barker D. A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Tech., Note NCAR/TN-475+STR. 2008.
6. Kalinin N.A., Shikhov A.N., Sviyazov E.M. Simulation of snow accumulation and melt in the Votkinsk Reservoir catchment using the WRF-ARW model // Russian Meteorology and Hydrology. 2015. Vol. 40 (11). P. 749-757.
7. Калинин Н.А. Мониторинг, моделирование и прогноз состояния атмосферы в умеренных широтах. Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2015. 308 с.
8. Quéno L., Vionnet V., Dombrowski-Etchevers I., Lafaysse M., Dumont M., Karbou F. Snowpack modelling in the Pyrenees driven by kilometric-resolution meteorological forecasts // Cryosphere. 2016. Vol. 10. P. 1571-1589.
9. Kunstmann H., and Stadler C. High resolution distributed atmospheric-hydrological modelling for Alpine catchments // Journal of Hydrology. 2005. Vol. 314. P. 105-124.
10. Zhao Q., Liu Z., Ye B., Qin Y., Wei Z., Fang S. A snowmelt runoff forecasting model coupling WRF and DHSVM // Hydrology and Earth Systems sciences. 2009. Vol. 13. P. 925-940.
11. Гаврилова С.Ю. Устранение неоднородности временных рядов атмосферных осадков и их использование для анализа изменений режима увлажнения на территории России: дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2010. 111 с.
12. Шутов В.А. Методы анализа пространственной изменчивости снегозапасов // Изв. РАН. Сер. Географ. 1998. № 1. С. 122-132.
13. Кузьмин П.П. Процесс таяния снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат. 1961. 346 с.
14. Пьянков С.В., Шихов А.Н. Моделирование пространственного распределения снегозапасов на крупном водосборе с применением спутниковой информации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. 2016. №4. С. 29-41.
15. Шихов А.Н., Свиязов Е.М. Оценка сумм осадков за холодный период на Западном Урале с помощью модели WRF // Географический вестн. 2015. №3. С. 67-74.

Поступила в редакцию 03.10.16

*A.N. Shikhov*

#### THE FEATURES OF SEVERE SNOWMELT FLOOD FORMATION IN THE VOTKINSK RESERVOIR CATCHMENT IN 2016

The article describes the features of severe snowmelt flood formation at the rivers of the Votkinsk reservoir catchment in 2016. The study of the 2016 snowmelt flood is particularly interesting in the context of climate change. The conditions of its formation were significantly different from all flood cases previously observed at the rivers under study. The input data and methodological approaches used for research are described. The modeling of spatial distribution of snow accumulation and snowmelt processes was carried out using GIS technologies. We used both the actual data of weather stations and the mesoscale atmospheric WRF model as input simulation data. We made a comparison of simulation methods and identified the extreme snow accumulation zones. We present a brief description of the features of spatial distribution of rainfall during snowmelt and the weather conditions that contributed to the intense water outflow in the catchment areas. We also list the features of flood formation at the In'va river within the boundaries of the city of Kudymkar, where a historical maximum water level was recorded. The formation of extreme flood in Kudymkar was caused by an anomalous combination of natural factors.

*Keywords:* dangerous hydrological phenomena, floods, snow cover, spring rainfall, Votkinsk reservoir catchment.

#### REFERENCE

1. Pyankov S.V. and Shikhov A.N. *Opasnye gidrometeorologicheskie javlenija: rezhim, monitoring, prognoz* [The hazardous hydrometeorological phenomena: regime, monitoring and forecasting], Perm. gos. nac. issl. Un-t., Perm', Izd-vo ООО «Raritet-Perm'», 2014, 296 p. (in Russ.).
2. *Prirodnye opasnosti Rossii. Vol.5. Gidrometeorologicheskie opasnosti*, [Natural hazards in Russia], Golitsyn G.S. and Vasil'ev A.A. (ed.), Moscow, Kruk, 2004, 296 p. (in Russ.).

3. Dvinskih S.A., Kitaev A.B. and Mihajlov A.V. [Floods on the Kama river catchment and organization of protection from them], in *Geografija i prirodnye resursy*, no. 4, 2010, pp. 75-79. (in Russ.).
4. *Permskij centr po gidrometeorologii i monitoringu okružhajushhej sredy* [Perm center of hydrometeorology and environmental monitoring], Available at: <http://meteoperm.ru/> (accessed 27.09.2016) (in Russ.).
5. Skamarock W., Klemp J., Dudhia J., Gill D. and Barker D. A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Tech., Note NCAR/TN-475+STR. 2008.
6. Kalinin N.A., Shikhov A.N. and Sviyazov E.M. Simulation of snow accumulation and melt in the Votkinsk Reservoir catchment using the WRF-ARW model, in *Russian Meteorology and Hydrology*, 2015, vol. 40, no. 11, pp. 749-757.
7. Kalinin N.A. *Monitoring, modelirovanie i prognoz sostojanija atmosfery v umerennyh shirotah* [Monitoring, modeling and forecasting of atmospheric conditions in temperate latitudes], Perm. gos. nac. issled. un-t, Perm', 2015, 308 p.
8. Quéno L., Vionnet V., Dombrowski-Etchevers I., Lafaysse M., Dumont M., and Karbou F. Snowpack modelling in the Pyrenees driven by kilometric-resolution meteorological forecasts, in *Cryosphere*, 2016, vol. 10, pp. 1571-1589.
9. Kunstmann H. and Stadler C. High resolution distributed atmospheric-hydrological modelling for Alpine catchments, in *Journal of Hydrology*, 2005, vol. 314, pp. 105-124.
10. Zhao Q, Liu Z, Ye B, Qin Y, Wei Z, and Fang S. A snowmelt runoff forecasting model coupling WRF and DHSVM, in *Hydrology and Earth Systems sciences*, 2009, vol. 13, pp. 925-940.
11. Gavrilova S.Ju. [Eliminating the inhomogeneity in time series of precipitation and their use for the analysis of changes of moisture regime on the territory of Russia], Cand. Geogr. sci. diss., Sankt-Peterbourg, 2010, 111 p. (in Russ.).
12. Shutov V.A. [The methods of analysis of snow water equivalent spatial distribution], in *Izvestija RAN, Ser. Geograficheskaja*, 1998, no. 1, pp. 122-132 (in Russ.).
13. Kuz'min P.P. *Process tajaniya snezhnogo pokrova* [The process of snowmelt], Lennigrad, Gidrometeoizdat, 1961, 346 p. (in Russ.).
14. P'jankov S.V. and Shihov A.N. [Modeling the spatial distribution of snow cover on a large catchment area using satellite data], in *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz Kosmosa*, 2016, no. 4, pp. 29-41 (in Russ.).
15. Shihov A.N., Sviyazov E.M. [Estimation of precipitation amount during the cold period in the Western Urals using the WRF model], in *Geograficheskij vestnik*, 2015, no. 3, pp. 67-74 (in Russ.).

Шихов Андрей Николаевич,  
кандидат географических наук, доцент кафедры  
картографии и геоинформатики  
ФГБОУ ВО «Пермский государственный  
национальный исследовательский университет»  
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15  
E-mail: and3131@inbox.ru

Shikhov A.N.,  
Candidate of Geography, Associate Professor  
at Department of cartography and geoinformatics  
Perm State University  
Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990  
E-mail: and3131@inbox.ru