

УДК: 556.5 ББК: 26.222

**ПРИРОДНЫЕ РИСКИ И СТРАТЕГИЯ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ
ТЕРРИТОРИЙ**

С.А. Журавин, М.Л. Марков

*Государственный гидрологический институт,**г. Санкт-Петербург, Россия*

2014mml@gmail.com

Аннотация. Объектом настоящего исследования являются разномасштабные эффекты влияния изменения климата на гидрологический режим. Существующие подходы к оценке влияния климата на водные ресурсы и гидрологический режим основаны на глобальных данных или данных гидрометеорологического мониторинга регионального уровня. В соответствии с таким сложившимся подходом разрабатываются и адаптационные стратегии как на секторальном (в секторах экономики), так и на региональном уровне. Вместе с тем, реакция водного режима территорий на происходящее изменение климата, и, в первую очередь, температуры воздуха, неоднозначна для водных объектов различных масштабов. Например, на малых реках северо-запада Российской Федерации и в бассейне верхней Волги начиная с 1995-2000 г. наблюдается снижение минимального стока, в том числе зимой. Пересыхают родники, снижаются уровни грунтовых вод, деградирует первичная гидрографическая

**NATURAL RISKS AND
STRATEGY OF THE WATER
AVAILABILITY RESEARCH OF
TERRITORIES**

Sergey A. Zhuravin, Mikhail L. Markov

*State Hydrological Institute,**St. Petersburg, Russia*

2014mml@gmail.com

Abstract. According to the “Water strategy” accepted by the Government of Russian Federation in 2009, risks of the negative influence of natural water on the environment mostly are related with the peak flood runoff. The water deficit is not in the list of risks. The water deficit has begun to increase during the past decades even in humid zones mainly due to the climate change. Therefore, there is a necessity to assess reasons and trends of water regimes and water resources changes for different territories. The twofold of the runoff distribution in the different chains of the river network displayed for the modern decades. The low flows in the lower river chains (so-called “the large rivers”) increased substantially since 1987-1990. The same situation was in “the small rivers” until 2000’s, but low flows there became decrease later (however, it is still more than it was during 1950-1970’s). The favorable conditions of the water leakage keeping for the long period had led to the

сеть. Одновременно с этим наблюдаются значительный сток в межень на крупных реках, идет активизация процессов подтоплений территорий, экзогенных процессов. Такое несинхронное изменение водности в разных звеньях гидрографической сети речных бассейнов не может быть объяснено на основе общих соображений влияния климата на сток. Соответственно, не могут быть разработаны и оптимальные адаптивные мероприятия к происходящим изменениям в водном режиме территорий. Нестационарность и нелинейность процессов формирования стока в переходный климатический период вносят большую неопределенность в гидрологическое обоснование проектирования и эксплуатации объектов водохозяйственного комплекса, сельского хозяйства, гидроэнергетики и так далее. Поэтому нужен более дифференцированный подход к оценке изменений в водном режиме территорий, связанных с нелинейной реакцией водной системы речных бассейнов на климатические изменения при переходе от одного квазистационарного состояния к другому.

Ключевые слова: климатические изменения; водный режим; обводненность территории; формирование речного стока; адаптация к изменению климата; водная стратегия

Введение

Природный риск, как вероятная мера природной опасности, установленная для объектов хозяйствования в виде возможных потерь за определенное время, служит оценкой

disturbance of the water balance components, when water leakage in rivers became exceed their feeding, and water has “out-flow” from the basins of small rivers.

Nonsynchronous changes of the water regimes of river net chains of different order can't be explained by “global approaches” to the climate changes. Therefore, there is a different suggested way to solve this problem, related to nonlinear reaction of the river basins water system to the climate long-term variations, when one quasi-stationary conditions (definite relative stable period of climate conditions) change to another.

It is useful to add to “The water strategy” more detailed hydrological basis. It should include all aspects of the standard and special hydrological network development, problems of the scientific study hydrological processes, spatial-temporary nonuniformity of the different order river basins water turnover reaction on the climate change.

Keywords: climate changes; water regime; moistening of the territory; river runoff formation; adaptation to climate change; water strategy

потенциальной возможности такого протекания процессов, которые оказывают негативное влияние на жизнедеятельность человека, общества и государства в целом.

В ряду природных рисков особое место занимают риски, связанные с одной из основных «стихий» – водой. Не случайно в употребление вошел термин «водная проблема», обозначающий сложные вопросы касательно удовлетворения непрерывно растущих потребностей в воде, а также различные социальные, экономические и экологические аспекты жизнедеятельности, связанные с режимом водных объектов и прилегающих к ним территорий. «Водная проблема» затрагивает развитие практически всех социально-экономических сфер и проявляется в качестве одной из самых важных в функционировании водохозяйственного комплекса страны. В принятой правительством Российской Федерации в 2009 г. «Водной стратегии» дефицит водных ресурсов обосновывается неравномерностью их распределения по территории, ограниченностью регулирующих возможностей водохранилищ, технологическими потерями и недостаточной комплексностью использования водных ресурсов в маловодные периоды¹. Риски негативного воздействия природных вод на экономику и условия проживания населения в периоды повышенной водности связываются преимущественно с затоплением и подтоплением территорий, абразивным разрушением берегов водохранилищ.

Основное внимание уделяется последствиям негативного воздействия¹, тогда как, в результате изменений климата и в связи с ростом интенсивности хозяйственной деятельности, остро проявилась проблема оценки причин и направленности изменений водных ресурсов и водного режима различных территорий. В ряде регионов изменения гидрологического режима и связанные с ними проблемы водохозяйственного обеспечения в последние десятилетия достигли критического состояния даже при условии сохранения достаточно высокого уровня увлажнения территорий [Сурина, 2010]. Поэтому весьма важно установить причинно-следственные связи произошедших изменений, соотношение природной и антропогенной их составляющих, получить необходимую информацию для разработки и внедрения мероприятий по адаптации социально-экономического блока к текущему состоянию водных ресурсов.

¹ Водная стратегия РФ на период до 2020 года // Распоряжение Правительства от 27 августа 2009 № 1235-р.

Объект и методика исследований

Главным источником используемой пресной воды является ежегодно возобновляемый речной сток и активная часть подземных вод. Водообеспеченность территорий определяется ресурсами местного стока, формирующегося за счет осадков, а также ресурсами стока, привносимого реками со смежных территорий. Ресурсы местного стока формируют главным образом водотоки верхних звеньев гидрографической сети. В статье основное внимание уделено анализу направленности изменений местных водных ресурсов на фоне происходящих региональных изменений водного режима.

Методика исследований состоит в анализе опубликованных материалов, официальных обзоров и выявлении причин различия в многолетней динамике местных и региональных водных ресурсов.

До недавнего времени, пока объем водопотребления был относительно невелик, а изменения климатических характеристик не проявлялись столь очевидно, особых затруднений в использовании водных ресурсов в стране не возникало. Проблемы дефицита водных ресурсов в засушливых регионах успешно решались на протяжении десятилетий с помощью комплекса водохозяйственных мероприятий, таких, как строительство водохранилищ, каналов, перераспределения стока воды и так далее.

Однако в последнее время недостаток воды стал ощущаться уже не только в аридных и полуаридных районах, причем в условиях достаточного количества осадков. В 2014-2015 гг. сложилась критическая ситуация с водоснабжением в Ломоносовском и Гатчинском районах Ленинградской области. Водозаборы для пос. Кипень, пос. Гостилицы и ряда других населенных пунктов осуществляются из закрытых каптажей и скважин. Уровень подземных вод в этих районах опустился до рекордно низких отметок, часть каптажей пересохла. В связи с этим воду с ноября 2015 г. подают ограниченно, по расписанию. Даже в засушливые 1972-1973 гг. уровни грунтовых вод не опускались так низко.

В верхнем и среднем течении р. Волги в последние годы также обострились проблемы, вызванные аномально низкой водностью малых водотоков. Например, на озерах-охладителях Калининской АЭС, расположенных в приводораздельной зоне р. Волги в 2015 г. при осадках, близких к средним многолетним, наблюдались чрезвычайно низкие, фактически близкие к критическим для работы станции уровни воды.

В современных условиях изменяющегося климата наблюдается различие в изменениях формирования стока в разных звеньях гидрографической сети. Наиболее ярко

разнонаправленность изменений водности и водного режима верхних и нижних звеньев речной сети проявляется в летнюю и зимнюю межень. Согласно данным наблюдений, в нижних звеньях речной сети (как правило, это так называемые «большие реки»), начиная с 1987-1990 гг. и по настоящее время, низкий сток зимы и лета вырос по сравнению с предыдущим периодом. В верхних звеньях речной сети меженный сток частично увеличивался ориентировочно до 2000 г. В последующий период сток меженных периодов на реках верхних звеньев гидрографической сети (это, как правило, «малые реки»), водосборы которых простираются на приводораздельных пространствах больших водотоков, значительно снизился, хотя он по-прежнему выше, чем в 1950-1970-е годы. Это явление связано с тем, что, в первоначальный период, питание активных верхних водоносных горизонтов грунтовых вод превышало разгрузку из них. Сохранение благоприятных условий разгрузки воды в течение длительного времени привело к нарушению баланса: разгрузка стала превышать питание, и вода, выражаясь простым языком, «вытекла». В лесостепной зоне это явление отмечалось и ранее [Zhuravin, Markov, 2010]. Снижение обводненности приводораздельных территорий приводит к снижению уровней грунтовых вод, деградации малых рек, озер, исчезновению родников. Происходит заметное (до 50%) уменьшение густоты русловой сети [Иванова, Ларионов, 1996]. По данным наблюдений² на Нижнедевицкой воднобалансовой станции длина русла постоянно действующего руч. Ясенок ($A=21,5 \text{ км}^2$) с 1982 по 1986 г. уменьшилась на 0,8 км. Последствием этих процессов является нарушение водохозяйственного обеспечения территорий. Ниже приведены примеры последствий, вызванных этим развивающимся явлением.

По данным режимных наблюдений АО «Геоцентр-Москва»³ на приводораздельных территориях бассейна р. Волги в пределах Центрального Федерального округа (ЦФО) в 2010 г. наибольшее снижение уровней грунтовых вод составило от 1 до 8 метров. Это выразилось в осушении колодцев и скважин на четвертичном водоносном горизонте, что повлекло за собой сбои водоснабжения отдельных населенных пунктов практически по всей территории ЦФО. Снижение уровня воды в р. Оке в районе г. Калуги привело к осушению водоприемной части водозабора поверхностных вод. На западе Тверской области уровень в р. Межа снизился ниже среднемноголетних значений на 0,9 м. На полигоне «Малая Истра» расход воды в р. Малая Истра снизился до минимальных значений, а в верховьях малых рек сток воды отсутствовал.

² Материалы наблюдений Нижнедевицкой воднобалансовой станции. Курск. изд. УГМС ЦФО. 190 с

³ Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации. Выпуски 26-37. М.: ООО «Геоинформмарк», 2003-2014. URL: http://www.geomonitoring.ru/gmsn_sostoyanie_nedr.html

По данным Курского комитета природных ресурсов максимальное снижение уровня воды в р. Сейм в районе г. Курска составило 0,83 м, что повлекло за собой заметное понижение уровня воды в колодцах, так как существует прямая гидравлическая связь грунтовых вод с поверхностными водами. Как показали наблюдения, при снижении уровней подземных вод в маловодные годы отмечается изменение их химического состава, что проявляется в увеличении концентраций различных химических элементов. Снижение уровней грунтовых вод в 2001 г. в Смоленской области до 2,0 м привело к увеличению в 2002 г. содержания в подземных водах выше фоновых концентраций таких компонентов, как сульфаты, бериллий, стронций, селен и литий⁴. Снижение средних многолетних уровней грунтовых вод приводорадельных зон – это одна из возможных причин высыхания еловых лесов. По данным ФГУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства» в конце прошлого столетия массовые усыхания лесов приняли перманентный характер, а в некоторых областях Северо-Запада России в настоящий момент они приобрели масштаб экологической катастрофы [Арефьева, Мухин, Мирмович, 2007; Разумов, Разумова, Молчанов, 2015; Рожков, Козак, 1988; Сурина, 2010]. В европейской части России наибольшую тревогу вызывает усыхание ельников. Привлекшим к себе наибольшее внимание и, вероятно, наиболее обширным по площади в России является массовое усыхание лесов в Архангельской области, наблюдаемое с 1997 г. Усыхание имеет интенсивную динамику развития: с начала 2004 г. к концу 2005 г. площадь усыхания увеличилась примерно на 50% и оценивается сегодня более чем в 2 млн. га. При этом процесс поражения уже перекинулся и на Удорский район Республики Коми. По некоторым оценочным данным общая площадь усыхающих лесов может достигнуть 5 млн. га. Рассеянные очаги усыхания ели в массовом количестве встречаются в Ленинградской и Новгородской областях, отмечены они также в Карелии и Псковской области⁴.

Водный режим меженных периодов нижних звеньев гидрографической сети определяется несколько иными факторами.

Как отмечалось выше, в последние два десятилетия двадцатого века на «малых реках» верхних звеньев гидрографической сети наблюдался высокий сток. Значительные расходы воды на «малых реках», особенно в зимний период, обуславливали увеличение уровней в средних и нижних звеньях гидрографической сети. Как показали исследования, увеличение зимнего стока в 2 раза на равнинных реках с площадью водосбора 10 тыс. км² приводит к

⁴ Гидрометеорологический бюллетень № 5 от 28 января 2016 г. ФГБУ Гидрометцентр России. Электрон. ресурс. URL: Meteoinfo.ru.

увеличению минимального уровня воды в среднем на 0,7 м, а при площади водосбора 100 тыс. км² – более 1 м [Zhuravin, Markov, 2010]. Увеличение минимального уровня приводит к повышению базиса дренирования и уменьшению дренирующей способности русла водотока в нижних звеньях гидрографической сети. Вследствие этого ежегодно в теплые зимы снижается разгрузка подземных вод в межень в нижних звеньях рек и десятилетиями происходит рост средних годовых уровней грунтовых вод в прибрежных зонах, что вызывает подтопление прибрежных территорий, а также заболачивание их долин.

О масштабах увеличения стока больших рек можно судить, например, по стоку в период аномально теплой зимы 2015-2016 гг. По данным Росгидромета, сток в январе на р. Волга и р. Кама превышал норму для этого времени года в 1,3-1,7 раза в верхнем течении этих рек, и в 1,9-2,6 раза – в нижнем. На р. Уфе сток был выше среднемноголетнего в 2,3 раза. Приток в водохранилищах Новосибирское, Саяно-Шушенское, Зейское и Колымское был в 1,2-2,2 раза больше нормы. Соответственно, произошло и аномальное снижение дренирующей способности среднего и нижнего звеньев гидрографической сети, что способствовало росту уровней грунтовых вод и подтоплению территорий на этих участках⁵.

В обзоре, выполненном сотрудниками ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России», подтопление рассматривается как один из основных источников чрезвычайных ситуаций в России [Разумов, Разумова, Молчанов, 2015]. В частности, в публикации сказано, что подтопление приводит к увлажнению и разжижению грунтов, к снижению их несущей способности, затоплению подвальных помещений и подземных коммуникаций. Подтопление нередко вызывает активизацию имеющихся оползней, карстовых процессов, просадку лессовых и набухание глинистых грунтов, активизацию процессов морозного пучения и даже изменения микросейсмической характеристики территории. Ущерб от подтопления составляет до 350-400 млрд. рублей в год.

Просадки лессовых массивов вызывают деформации, а иногда и полное разрушение зданий и сооружений, подземных коммуникаций, трубопроводов, транспортных систем. Просадочность лессовых грунтов в результате подтопления и избыточного увлажнения наблюдается в более чем 560 городах России. Например, в г. Волгодонске по состоянию на 2003 г. из 907 жилых зданий 732 не имели гарантированной эксплуатационной надежности из-за деформации фундаментов в результате просадок обводненных лессовых грунтов. В некоторых городах Северного Кавказа величина просадки достигает 1,0-1,5 м.

⁵ Там же.

Угрожающая динамика подтопления отражается в статистических данных о том, что в 1986 г. подтоплением было охвачено 733 города России (что составляло 70%), а в 2006 г. – уже 93% всех городов страны [Арефьева, Мухин, Мирмович, 2007].

Примеров разнонаправленных изменений в водном режиме рек и уровней подземных вод можно привести еще больше, причем касаются они как полуаридных районов с традиционными проблемами в режиме увлажнения, так и районов, которые до сих пор считались более благополучными. Это явление проявляется и в восточных районах страны. Повышение уровня грунтовых вод и активизация образования наледей в зимнее время в начале нынешнего века произошли в Республиках Тыва, Хакасия, в Красноярском крае, Иркутской области, в Забайкалье. Подтопление территорий и формирование наледей оказали вредное воздействие на фундаменты домов, множество дорог и других объектов инфраструктуры [Жигунов, Семакова, Шабунин, 2007].

Основным фактором, определяющим текущую ситуацию в изменении водных ресурсов, являются долгосрочные изменения климата. Существующие подходы к оценке их влияния на водные ресурсы и гидрологический режим основаны на глобальных данных или данных гидрометеорологического мониторинга регионального уровня. В результате такого масштабного подхода, в частности, в материалах «Второго оценочного доклада Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации»⁶ получены следующие выводы:

«На территории России (...) доминирующей тенденцией изменения годового стока рек является его увеличение. В 1981-2012 гг. по отношению к среднему уровню за период 1936-1980 гг. оно составило около 5%. В ближайшие десятилетия нет оснований ожидать каких-либо значительных изменений годового стока основных рек России в результате изменения климата. Для большей части территории страны наиболее вероятно незначительное (в пределах 5%) увеличение годового стока, что находится в пределах его естественной изменчивости. Как показывают модельные расчеты, проведенные в рамках современных представлений о будущем климате в 21 веке, водный режим рек России в ближайшие два десятилетия по своим основным параметрам будет близким к наблюдавшимся в последние 30-35 лет. Ожидаемое повышение температуры воздуха зимой позволяет полагать, что наблюдающийся увеличенный зимний сток рек сохранится и в ближайшие 2-3 десятилетия. При этом относительная доля весеннего стока в годовом стоке будет уменьшаться».

⁶ Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: ФГБУ НИЦ «Планета», 2014. 58 с.

В соответствии с таким сложившимся подходом разрабатываются и адаптационные стратегии как на секторальном (в секторах экономики), так и на региональном уровне (с учетом географических и природно-климатических особенностей регионов).

Выше показано на конкретных примерах, что реакция водного режима территорий на происходящее изменение климата неоднозначна для водных объектов различных масштабов. Несинхронное изменение водности в разных звеньях гидрографической сети речных бассейнов не может быть объяснено на основе общих соображений влияния климата на сток. Соответственно, не могут быть разработаны и оптимальные адаптивные мероприятия к происходящим изменениям в водном режиме территорий. Поэтому нужен более дифференцированный подход к оценке изменений в водном режиме территорий, связанный с нелинейной реакцией водной системы речных бассейнов на климатические изменения при переходе от одного квазистационарного состояния к другому.

Квазистационарный режим водных объектов соответствует определенному условно стабильному периоду состояния климата и характеризуется определенными условиями формирования стока воды и других элементов водного баланса, а также определяющих их факторов. Пример выделения таких периодов по данным наблюдений за годовым стоком воды на водотоках Подмосковной (ПВБС) и Нижнедевицкой (НДВБС) воднобалансовых станций приведен на рисунках 1, 2.

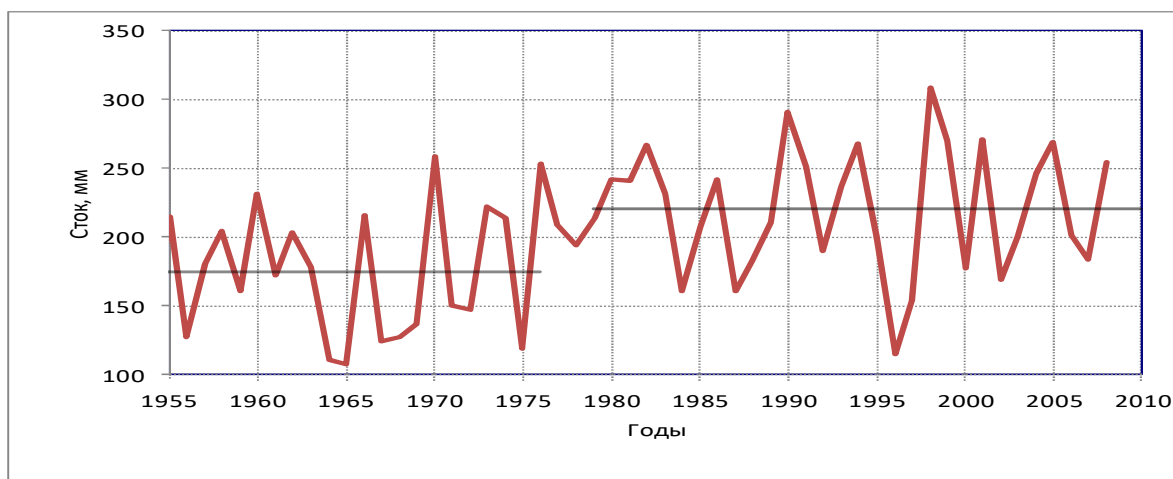


Рисунок 1. Изменения годового стока р. Медвенки - выше впадения р. Закзы (ПВБС)
Figure 1. Changes of annual runoff of Medvenka river – above confluence with river Zakzi
(water-balance station near Moscow)



Рисунок 2. Изменения годового стока р. Девица - п. Товарня, руч. Ясенок и лога Долгого (НДВБС).

Figure 2. Changes in the annual runoff of the Devitsa River at Tovarnaya, Yasenok brook and Dolgiy blind creek (Nizhnedevitskaya water-balance station)

Изменения годового стока водотоков воднобалансовых станций за период наблюдений показывают наличие двух квазистационарных и переходного периодов, соответствующих изменению климатической ситуации. В зоне смешанных лесов (ПВБС) наблюдается заметный рост годового стока воды, в то время как в лесостепной зоне (НДВБС) произошло снижение стока, особенно на водотоках первичного звена гидрографической сети с неполным дренированием грунтовых вод. Каждому из таких периодов соответствует определенная преобладающая система влагооборота, которая определяет гидрологический режим, пространственное и временное распределение водных ресурсов, когда при тех же (и даже больших) осадках могут возникать более продолжительные периоды их дефицита. Продолжительность процесса стабилизации режима водных объектов для периодов с преобладанием поверхностного стока (1940-1970 гг.) и доминированием его подземной составляющей (после 1980 г.) заметно отличается по времени ввиду большой инерционности процессов миграции влаги в зоне активного водообмена. И это должно найти отражение при формировании региональных программ социально-экономического развития, при разработке и осуществлении мероприятий, обеспечивающих рациональное использование, восстановление и охрану водных объектов и их водных ресурсов, предотвращение негативного воздействия вод и на воды.

Обсуждение причин различия в многолетней динамике местных и региональных водных ресурсов

Анализ причин несинхронности реакции водных объектов на происходящее изменение климата основан преимущественно на исследованиях, выполненных в ФГБУ «Государственный гидрологический институт» (далее – ГГИ).

Произошедшее в последние три десятилетия потепление зим привело к снижению роли криогенных явлений и процессов, которые в предшествующий квазистационарный климатический период способствовали уменьшению минимального стока рек, но благоприятно влияли на повышенный сток весеннего половодья.

С одной стороны, уменьшилась глубина и продолжительность периода промерзания почво-грунтов. Это привело к увеличению инфильтрации атмосферных осадков, что, на первый взгляд, должно было способствовать росту питания подземных вод. С другой стороны, заметно возрос сток внутрипочвенной верховодки, который увеличивает зимний сток рек, но при этом препятствует поступлению воды в верхние водоносные горизонты (рисунок 3).

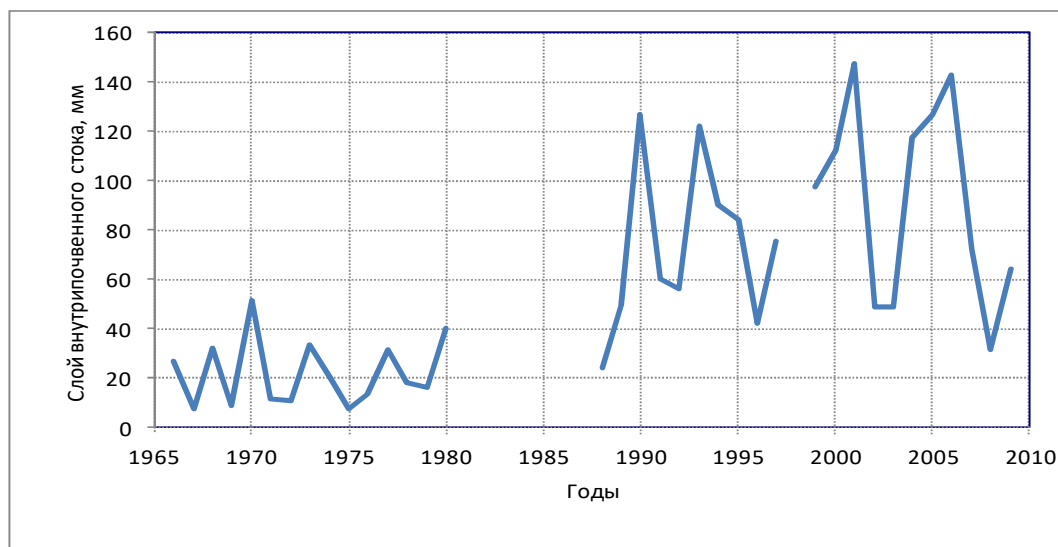


Рисунок 3. Изменения годового слоя внутрипочвенной верховодки по данным наблюдений на полевой воднобалансовой площадке ПВБС.

Figure 3. Changes in the annual depth of the top water according to observations at the field water balance plot at water-balance station near Moscow

В условиях потепления климата и установления оттепельного зимнего режима дренирование малыми реками верхней зоны активного водообмена зимой возросло по изложенным ниже причинам:

- Снизилась величина аккумуляции подземных вод во льду в зоне аэрации при миграции незамерзшей влаги к фронту промерзания. Исследование условий формирования запасов влаги в почве в зимний период в бассейне р. Вятки и на объектах Валдайского филиала ГГИ показали, что они могут увеличиваться к концу холодной зимы на величину до 40 мм. Соответственно, при потеплении эта влага не аккумулируется и может участвовать в стоке рек.

- Уменьшились потери подземного питания рек на формирование ледовых образований: речного льда, наледей, сезонных подземных льдов. Особенно актуально это на территории распространения многолетней мерзлоты. Здесь зимой на реках образуется мощный ледяной покров толщиной 1-2 м, наледи разных типов и сезонные подземные льды, за счет чего сток в реках может существенно сокращаться или полностью прекращаться.

- При уменьшении толщины льда в реках возрастает пропускная способность русел. Уменьшение толщины льда, например, в бассейне р. Северной Двины всего на 15 см приводит к увеличению стока в конце зимы в малых ручьях почти в 2 раза по сравнению с холодными зимами. Для бассейна р. Алдан отклонение средней зимней температуры воздуха от средней многолетней температуры на $2-3^{\circ}$ приводит к отклонению среднего зимнего стока рек на 20-30% от среднего многолетнего значения. На р. Норильской колебания толщины льда контролируют до 25-30% меженного стока при равных гидрометеорологических условиях в предзимний период.

- При уменьшении промерзания почво-грунтов возрастает их воздухопроницаемость. При более свободном проникновении воздуха в зону аэрации над грунтовыми водами зимой не создается более низкое давление, чем в атмосфере, и подземные воды свободно разгружаются в реки. В ГГИ проводились экспериментальные работы по выявлению влияния колебания давления воздуха в зоне аэрации на режим разгрузки подземных вод в водные объекты. Уже первые результаты показали, что разница давления в атмосфере и в ненасыщенной зоне почво-грунтов при прохождении атмосферных фронтов может составлять до 50-100 мм в эквиваленте водяного столба, а зимой – до 200 мм и более при формировании сезонно-мерзлого слоя, слабо пропускающего воздух, необходимого для заполнения пустот при снижении уровня грунтовых вод. При потеплении зим и прекращении промерзания почво-грунтов это физическое явление, существенно снижающее уровни подземных вод при отсутствии инфильтрации, исчезает.

В результате перечисленных процессов при увеличении зимней температуры воздуха, с одной стороны, может происходить увеличение питания подземных вод за счет роста

инфильтрации атмосферных осадков, а с другой – улучшение условий разгрузки водоносных горизонтов в сеть малых водотоков, которые составляют порядка 80% всей гидрографической сети. Поэтому ключевым фактором современного состояния зоны активного водообмена и уровней грунтовых вод в ней в верхних звеньях гидрографической сети является соотношение питания этой зоны (то есть части осадков, проникающих в зону аэрации и в насыщенную зону) и разгрузки из нее.

В разных регионах страны эти процессы проявляются по-разному. Например, в северных и сибирских регионах значительное промерзание есть всегда и это не сказывается на увеличении питания подземных вод. Но зимний сток на реках этих регионов практически везде имеет тенденцию роста, так как снизились «потери» на ледообразование и улучшилась пропускная способность русел рек при уменьшении толщины льда.

Описанные процессы улучшения дренирующей способности гидрографической сетью речных бассейнов при повышении температуры воздуха привели постепенно к их «подсушке» в ряде районов [Grigoriev, Frolova, 2018] и снижению, прежде всего, летнего минимального стока. Снижение минимального стока в условиях продолжающегося потепления зим, соответственно, обусловлено снижением уровней грунтовых вод в приводораздельной зоне речных бассейнов (рисунки 4, 5).

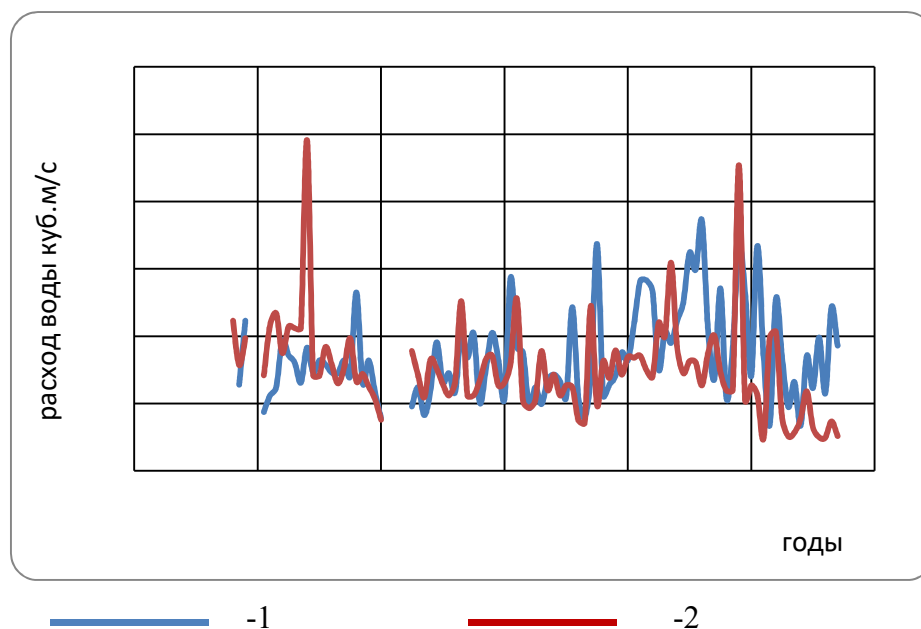


Рисунок 4. Минимальный 30-ти суточный зимний (1) и летний (2) сток р. Луги - ст. Толмачево ($F=6350/302 \text{ км}^2$).

Figure 4. Minimum 30-day winter (1) and summer (2) runoff of the Luga River at Tolmachevo ($F=6350/302 \text{ km}^2$)

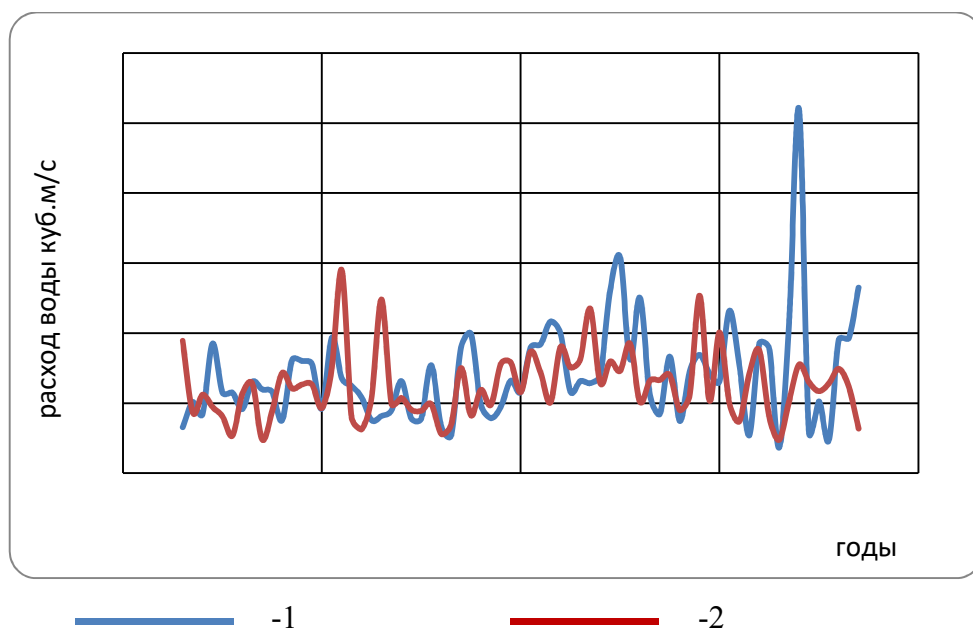


Рисунок 5. Минимальный 30-ти суточный зимний (1) и летний (2) сток р. Систы - д. Ср. Райково ($F = 573 \text{ км}^2$).

Figure 5. Minimum 30-day winter (1) and summer (2) runoff of the Siste River at Raikovo ($F=573 \text{ km}^2$)

При сохранении современных тенденций роста температуры воздуха, вызванного глобальным потеплением климата, особенно проявляющегося и прогнозируемого в зимний сезон, следует ожидать дальнейшего ослабления криогенного регулирования водного режима территорий. Это приведет к дальнейшему постепенному снижению запасов подземных вод на верхних участках речных бассейнов, деградации малых рек. Между тем «малые реки», на которых, собственно, и формируется основная часть стока, практически не учитываются ни в «Водной стратегии», ни при разработке водохозяйственных мероприятий. Наблюдения за их режимом на сети Росгидромета фактически прекращены, а ранее действовавшие посты закрыты.

Следует отметить также, что современный период характеризуется и возросшей неравномерностью внутригодового и межгодового режима увлажнения, причем не только в полуаридных районах, но также и в южной части зоны достаточного увлажнения, что увеличивает риски для сельского хозяйства и водоснабжения. Так, засушливые периоды с запасами влаги, близкими к влажности завядания, в настоящее время наблюдаются с частотой раз в 5-7 лет, и даже раз в 3-5 лет, при том, что в среднем увлажнение в верхнем метровом слое почво-грунтов возросло (рисунок 6). Аналогичная ситуация наблюдалась в засушливые 2007 и 2010 годы.

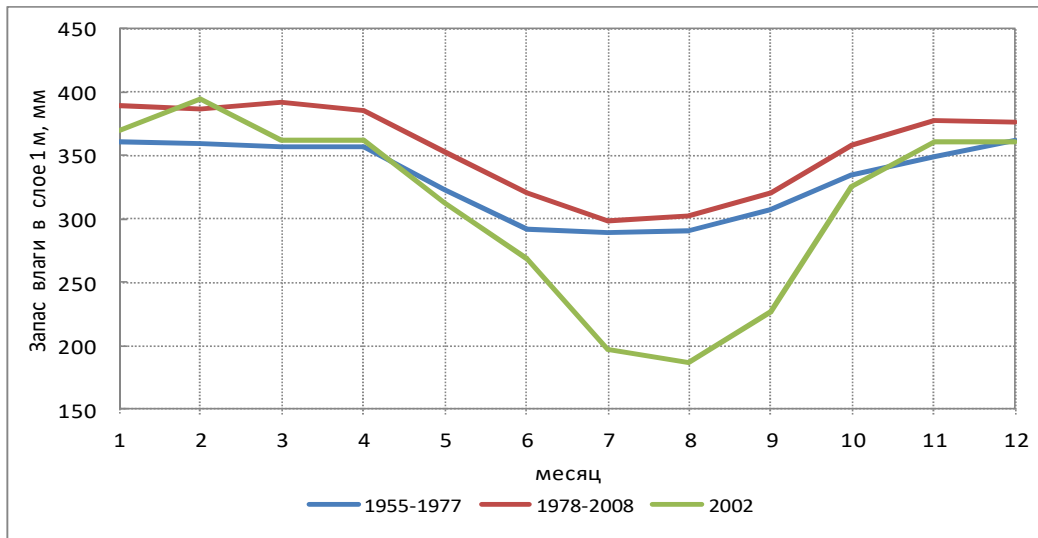


Рисунок 6. Средние за периоды 1955-1977 гг. и 1978-2008 гг. влагозапасы почво-грунтов в слое в 1 м на ПВБС и их величины в 2002 г.

Figure 6. Mean average soil moisture content in 1 m layer for the period of 1955-1977 and 1978-2008 at water-balance station near Moscow and their values for 2002

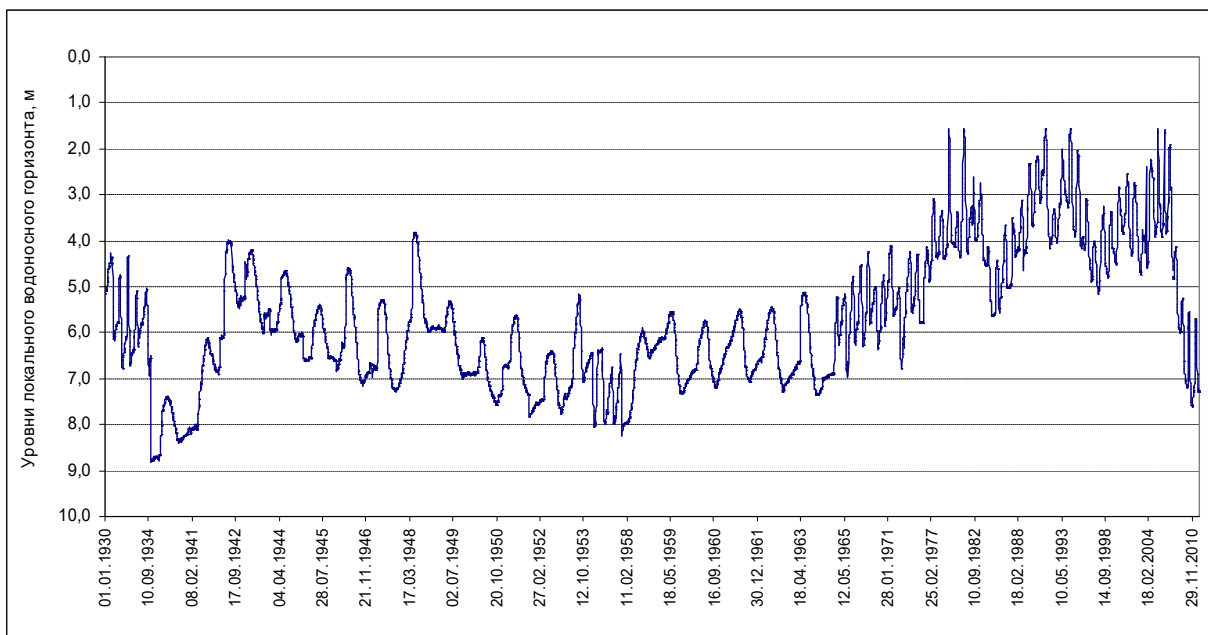


Рисунок 7. Изменения уровней верхнего водоносного горизонта на ВБС Каменная Степь (степная зона).

Figure 7. Changes in the ground water table of the upper aquifer at the Kamennaya Steppe water-balance station (steppe zone)

В полуаридных районах даже непродолжительные серии маловодных лет могут привести к резкому падению уровней грунтовых вод верхних горизонтов на несколько метров, что имеет большое значение для местного водоснабжения (рисунок 7).

Рассмотренные процессы происходящей перестройки водообмена между поверхностными и подземными водными объектами еще чрезвычайно слабо изучены. Начиная с 90-х годов прошлого века экспериментальные исследования этих процессов свернуты. Закрыты многие воднобалансовые станции Росгидромета. На оставшихся воднобалансовых станциях критически сокращен объем наблюдений. Существенно сокращен также и мониторинг подземных вод в Российской Федерации, особенно грунтовых вод зоны активного водообмена. За рубежом подобные исследования также практически не проводятся.

Заключение

Изменения климата в последние десятилетия привели к существенным изменениям в процессе влагооборота в верхних и нижних звеньях гидрографической сети, которые вызвали возрастание рисков дефицита водных ресурсов, в том числе в зоне достаточного и даже избыточного увлажнения. Современные условия взаимодействия поверхностных и подземных вод способствуют «иссушению» приводораздельных водосборов малых рек и их деградации, в то время как прирусловые части более крупных водотоков подвергаются подтоплению и заболачиванию. Кроме того, наблюдается возрастание неравномерности увлажнения территорий, как на внутригодовом, так и на межгодовом уровне.

При разработке адаптационных мероприятий водохозяйственного комплекса РФ к происходящим изменениям климата целесообразно внести дополнения в «Водную стратегию», касающиеся более углубленной проработки гидрологического блока. В него должны быть включены все аспекты развития стандартной и специализированной гидрологической сети, а также вопросы развития научного изучения гидрологических процессов, прежде всего, пространственно-временной неоднородности реакции влагооборота в речных бассейнах разного порядка на изменение климата. Особое внимание следует уделять зонам формирования стока, то есть «малым рекам», которые в настоящее время фактически исключены из системы мониторинга водных объектов, а также не рассматриваются при проектировании водохозяйственных мероприятий, хотя именно на них формируется основная часть водных ресурсов. Крупные реки являются преимущественно объектами транзита этих ресурсов.

Поэтому сложившийся десятилетиями «глобальный» подход к оценкам изменения водного режима крупных территорий не может быть методической основой для решения локальных и региональных водохозяйственных проблем. Стратегия адаптации водного хозяйства должна быть отработана на ряде бассейнов, испытывающих наиболее острые проблемы в области обеспечения водохозяйственного комплекса и развития негативных явлений, связанных с изменениями гидрологического режима территорий.

Литература

References

Арефьева Е.В., Мухин В.И., Мирмович Э.Г. Подтопление, как потенциальный источник чрезвычайных ситуаций // Технологии гражданской безопасности. 2007. Том 4. № 4. С. 69-72.

Жигунов А.В., Семакова Т.А., Шабунин Д.А. Массовое усыхание лесов на Северо-Западе России // Материалы научной конференции «Лесобихологические исследования на Северо-Западе таежной зоны России: итоги и перспективы», посвященной 50-летию Института леса Карельского научного центра РАН (г. Петрозаводск, 3-5 октября 2007 года). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 42-52

Иванова Н.Н., Ларионов Г.А. Динамика протяженности малых рек: факторы и количественные оценки // Причины и механизмы пересыха-

Aref'eva E.V., Mukhin V.I., Mirmovich E.G. Podtoplenie, kak potentsial'nyi istochnik chrezvychainykh situatsii [Submergence as a Potential Source of EC]. *Tekhnologii grazhdanskoi bezopasnosti [Civil Security Technologies]*, 2007, vol. 4, no. 4, pp. 69-72. (in Russian; abstract in English)

Grigoriev V.Yu., Frolova N.L. Terrestrial water storage change of European Russia and its impact on water balance. *Geography, Environment, Sustainability*, 2018, vol. 11, no. 1, pp. 38-50. DOI: [10.24057/2071-9388-2018-11-1-38-50](https://doi.org/10.24057/2071-9388-2018-11-1-38-50)

Ivanova N.N., Larionov G.A. Dinamika protyazhennosti malykh rek: faktory i kolichestvennye otsenki [The dynamics of the length of small rivers: factors and quantitative estimates] In Dedkov A.P., Butakova G.P. (eds.) *Prichiny i mekhanizmy peresykhaniya malykh rek [Causes and mechanisms of drying up of small rivers]*. Kazan', Publ. of Kazan. University, 1996, pp. 37-42 (in Russian)

Razumov V.V., Razumova N.V., Molchanov E.N. Podtoplenie zemel' v Sibirskom regione Rossii [Flooding of lands in the Siberian region of Russia]. *Georisk*

ния малых рек / Под ред. А.П. Дедкова, Г.П. Бутакова. Казань: изд-во Казан.ун-та, 1996. С. 37-42

Разумов В.В., Разумова Н.В., Молчанов Э.Н. Подтопление земель в Сибирском регионе России // Геориск. 2015. № 4. С. 22-36.

Рожков А.А., Козак В.Т. Устойчивость лесов. М.: Агропромиздат, 1988. 232 с.

Сурина Е.А. К вопросу об усыхании ельников в междуречье Северной Двины и Пинеги в условиях глобального потепления климата // Материалы Всероссийской конференции: IV Мелеховские научные чтения, посвященные 105-летию со дня рождения Мелехова И.С. «Проблемы лесоведения и лесоводства» (г. Архангельск, 10-12 ноября 2010 г.). Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2010. С. 188-191.

Grigoriev V.Yu., Frolova N.L. Terrestrial water storage change of European Russia and its impact on water balance. // *Geography, Environment, Sustainability*. 2018. Vol. 11. No. 1. P. 38-50. DOI: [10.24057/2071-9388-2018-11-1-38-50](https://doi.org/10.24057/2071-9388-2018-11-1-38-50)

[*Georisk*], 2015, no. 4, pp. 22-36, 58-59. (in Russian; summary in English)

Rozhkov A.A., Kozak V.T. *Ustoichivost' lesov* [Sustainability of forests]. Moscow, Publ. Agropromizdat, 1988. 232 p. (in Russian)

Surina E.A. К вопросу об усыхании ельников в междуречье Северной Двины и Пинеги в условиях глобального потепления климата [On the issue of drying of spruce forests between the Northern Dvina and Pinega between the conditions of global warming] *Materialy Vserossiiskoi konferentsii: Chetvertye Melekhovskie nauchnye chteniya, posvyashchennye 105-letiyu so dnya rozhdeniya Melekhova I.S. «Problemy lesovedeniya i lesovodstva»* (g. Arkhangel'sk, 10-12 noyabrya 2010 g.) [Materials of the All-Russian Conference: Fourth Melekhov scientific readings dedicated to the 105th anniversary of the birth of I. Melekhov "Problems of forest science and forestry" (Arkhangelsk, November 10-12, 2010)]. Arkhangel'sk, Severnyi (Arkticheskii) federal'nyi universitet, 2010, pp. 188-191.

Zhigunov A.B, Semakova T.A., Shabunin D.A. Massovoe usykhaniye lesov na Severo-Zapade Rossii [Mass drying of forests in the North-West of Russia]. *Materialy nauchnoi konferentsii «Lesobiologicheskie issledovaniya na Severo-Zapade taezhnoi zony Rossii: itogi i perspektivy»*, posvyashchennoi 50-letiyu Instituta lesa Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN (g. Petrozavodsk, 3-5 oktyabrya 2007 goda) [Proceedings of the Scientific Conference «Forest biology research in the northwest of the russian taiga zone: results and visions», celebrating the 50th anniversary of the Forest Research Institute

Zhuravin S.A., Markov M.L. Development of studies in small research basins in Russia and the most recent tasks. // Proceedings of the Workshop «Status and Perspectives of Hydrology in Small Basins» (Goslar-Hahnenklee, Germany, 30 March–2 April 2009). / eds. by A. Herrmann, S. Schumann. IAHS Publ. 336. 2010. P. 219-224.

Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, October 3-5, 2007)]. Petrozavodsk, Publ. of Karelian Research Centre of RAS, 2007, pp. 42-52 (in Russian)

Zhuravin S.A., Markov M.L. Development of studies in small research basins in Russia and the most recent tasks. In A. Herrmann, S. Schumann (eds.) *Proceedings of the Workshop «Status and Perspectives of Hydrology in Small Basins» (Goslar-Hahnenklee, Germany, 30 March–2 April 2009)*. IAHS Publ. 336, 2010, pp. 219-224.