

УДК 556.028

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА МАЛЫХ МОДЕЛЬНЫХ ВОДОСБОРАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Копысов Сергей Геннадьевич,

кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии
геолого-географического факультета Национального исследовательского
Томского государственного университета, Россия, 634050, г. Томск,
пр. Ленина, 36; старший научный сотрудник лаборатории мониторинга
лесных экосистем ИМКЭС СО РАН. E-mail: wosypok@mail.ru

Ярлыков Роман Валерьевич,

студент кафедры гидрологии геолого-географического факультета
Томского государственного университета, Россия, 634050, г. Томск,
пр. Ленина, 36. E-mail: yarlykov_92@mail.ru

Актуальность работы обусловлена недостаточностью данных наблюдений на малых водотоках, необходимых для мониторинга климатических изменений, прогноза опасных гидрологических явлений, расчёта водопропускных сооружений и эффективной эксплуатации микрогидроэлектростанций.

Цель работы. Обоснование выбора оптимальных методов организации автоматизированного учёта стока воды и сбора гидролого-климатической информации для моделирования динамики водно-балансовых элементов, а также обеспечения адаптивного землепользования и нужд гидрологического и геохимического мониторинга.

Методы исследования. Из всех элементов водного баланса наиболее точно измеряется поверхностный русловой сток воды, отражающий текущую влажность деятельного слоя на малом водосборе. На трёх малых водосборах в разных природно-климатических условиях были установлены приборы автоматического мониторинга уровня воды, температуры почвы, воды и воздуха, разработанные и произведенные в Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. Модельные водосборы расположены в зоне олиготрофных болот южной тайги, зоне бугристых болот лесотундры и предгорной зоне южной тайги. Для учёта стока воды использовались различные методы гидравлических расчётов: для неподтопленного водослива круглого сечения с широким порогом; для равномерного движения в естественных руслах; для треугольного водослива с подтопленным нижним бьефом. Для определения шероховатости поверхности конкретного водослива проводились измерения стока гидрометрическим методом – вертушкой, а при малых расходах – объёмным методом. Измерения уровня и других метеорологических параметров выполнялись с интервалом 1 час и сохранялись в блоке управления.

Результаты. Выявлена эффективность всех трёх способов организации учёта стока воды. Собраны уникальные данные по условиям формирования водного баланса и стока на малых водотоках. Показана огромная роль увлажнения деятельного слоя водосборов для возникновения экстремальных расходов воды.

Ключевые слова:

Мониторинг стока, модельный водосбор, водный баланс, лесотундра, южная тайга.

Ввиду природных особенностей Западная Сибирь является малонаселённой территорией. Слабая заселённость территории предопределяет ее слабую изученность, так как гидрологическая и метеорологическая сети приурочены к населённым пунктам, а потому характеризуют в основном большие и средние реки [1] и приречные территории, а не водораздельные пространства [2].

В то же время принято считать, что изменение климата в северных широтах оказывает существенное влияние на гидрологические процессы и это должно проявляться в изменениях структуры водного баланса и его внутригодовом распределении, а также качестве воды [3]. Однако фактических данных наблюдений для подобных утверждений не всегда достаточно. Поэтому на Западе [3–5] и у нас [6, 7] большое внимание уделяют естественным и антропогенным изменениям в растительном покрове во взаимосвязи с гидрологическими процессами. На практике это помогает обеспечить развитие адаптивного земледелия и рациональное использование водных ресурсов с сохранением их

экологической роли, в том числе за счёт энергоэффективного производства и преобразования энергии на основе водных ресурсов путем создания наименее экологически вредных микрогидроэлектростанций.

Для решения упомянутых проблем реализуется проект «Международной сети экспериментальных водосборов», которые охватывают широкий спектр гидроклиматических условий для проведения сравнительных исследований [3], а также нами проводятся исследования в рамках проекта СО РАН: «Экосистемные процессы в Сибири под воздействием природных факторов регионального и глобального уровня (№ госрегистрации 01201353357)» при поддержке гранта по Постановлению Правительства РФ от 09.04.2010 г. (BIO-GEO-CLIM), грантов РФФИ (№ 14–05–00700 и др.).

Одним из вариантов получения необходимой гидрометеорологической информации является создание разъездных гидрометрических отрядов для организации автоматизированной сети наблюдений [1]. Оптимальная численность такого отряда 4–5 че-

людей, но нам удавалось создавать только временные отряды из 2–3 человек за счёт студентов-практикантов и заинтересованных сотрудников.

Количественная оценка разнообразия и динамики ландшафтных условий (экосистемных изменений) формирования стока необходима для расчёта элементов водного баланса и прогноза его изменения. Использование для этих целей подробных математических моделей упирается в общеизвестную проблему отсутствия необходимых исходных данных. Поэтому наиболее согласованной с точностью задания внешних условий является интегральная, а не дифференциальная форма записи уравнений теплового и водного баланса, связанных между собой единым элементом – испарением [2, 8]. Так как условия формирования стока не только весьма разнообразны, но и тесно взаимосвязаны, то рассматривать их следует с помощью интегральных параметров.

Наиболее общим индикатором экосистемных изменений в климатоэкологических системах является изменение влажности деятельного слоя ландшафтов. Влажность деятельного слоя обусловлена воздействием природных факторов регионального и глобального уровня. Климатические факторы выражаются количеством выпадающих осадков и теплоэнергетическими ресурсами испарения, которые определяются не только температурой, но и дефицитом влажности воздуха.

Для расчёта водного баланса отдельных элементов ландшафта (элементарных водосборов) лучше всего подходит метод гидролого-климатических расчётов (ГКР) проф. В.С. Мезенцева [2, 8]. Основная идея метода ГКР заключается в том, что водный и тепловой балансы должны рассматриваться совместно в их неразрывной связи, а также во взаимосвязи с почвенным покровом, с учетом его водных и физических свойств [1, 2]. Главным достоинством метода ГКР является генетическая обоснованность и гибкость расчетных зависимостей с ясным физическим смыслом всех входящих в них параметров, а также возможность в явном или неявном виде выразить любой их элемент [9].

Из всех элементов водного баланса наиболее точно измеряется поверхностный русловой сток воды, отражающий текущую влажность деятельного слоя на малом водосборе. Влажность деятельного слоя помимо климатических факторов интегрально учитывает влияние растительного и почвенного покровов, а также условия дренированности территории водосбора (рельеф). Точность измерения стока значительно превышает точность измерения осадков, особенно в зимний период, а потому уже достаточно давно разработаны методики для расчёта слоя осадков на водосборе по измеренному стоку, так называемый гидрологический контроль осадков.

Самым надежным способом изучения формирования стока является анализ разумно организованных исследований и наблюдений в природе [10]. Для этих целей используют репрезентативные (ти-

пичные для того или иного гидрологического режима) и экспериментальные (с целенаправленным вмешательством в их состояние) водосборы.

В свое время [11] предполагалось, что наблюдения на малых водосборах автоматом приведут к появлению новых гидрологических знаний, но этого не произошло, что объясняется отсутствием руководящей теории при организации таких наблюдений [10]. Для переноса знаний с малых водосборов на более крупные территории нужна адекватная процессам моделирующая система, подразумевающая сравнение ряда параметров этих территорий. Причем для полноценного восприятия и понимания информация должна быть спрессованной и оптимально организованной [10]. У нас есть метод, отвечающий этим требованиям, – метод ГКР [12–14].

В качестве репрезентативных водосборов естественнее всего использовать элементарные водосборы площадью 0,01–1 км² (в исключительных случаях – до 10 км²) с четкой выраженностью водораздельной линии и возможностью надежного измерения стока [10].

Для наших целей на трёх малых водосборах в разных природно-климатических условиях были установлены приборы автоматического мониторинга уровня воды, температуры почвы, воды и воздуха. Приборы разработаны и произведены в Институте мониторинга климатических и экологических систем (ИМЭКС) СО РАН на основе автономного измерителя профиля температуры (АИПТ) [15]. На водомерных постах установлены системы автоматического мониторинга САМУВ с двумя датчиками уровня воды и при необходимости с измерительным водосливом из легких материалов, не нарушающих условия стока. Измерения уровня и других метеорологических параметров выполнялись с интервалом 1 час и сохранялись в блоке управления. Такой интервал измерений позволяет учитывать внутрисуточные колебания стока, но и не переполняет память избыточной информацией.

При необходимости для учета шероховатости поверхности конкретного водослива проводились измерения стока гидрометрическим методом – вертушкой, а при малых расходах – объёмным методом. Для получения данных об уклоне водной поверхности проводится периодическая (раз в год) нивелировка высотного положения датчиков уровня воды [16].

За период ледовых явлений данные отбраковываются, так как для их использования требуется проведение специальных натурных наблюдений для введения в расчёт поправочных коэффициентов.

Первые автоматизированные наблюдения за стоком были организованы в июле 2011 г. на ручье Коровинском, берущем своё начало с западного склона Бакчарского болота и пересекающем автомобильную дорогу Р-399 в 500 м до впадения в р. Бакчар, между д. Полынянка и с. Поротниково Бакчарского района Томской области. Данный ру-

чей является аналогом р. Ключ, который хорошо изучен в гидрологическом плане [17]. Площадь водосбора руч. Коровинского составляет 22 км², т. е. превышает допустимые размеры для репрезентативного водосбора и, кроме того, из-за высокой степени заболоченности (более 70 %) не имеет однозначной линии водораздела

Для организации автоматизированного учёта стока воды здесь использовалась водопропускная железобетонная труба через автомобильную дорогу, обладающую, как нам казалось, устойчивым сечением русла. Расчёт стока выполнялся по схеме неподтопленного водослива круглого сечения с широким порогом (рис. 1). Методика расчёта изложена в специальной литературе по гидравлике [18, 19]. К сожалению, из-за обвала в апреле 2014 г. устойчивость сечения русла была нарушена, при этом возникла реальная угроза разрушения дорожного полотна. Сейчас пункт закрыт, а ввиду несоответствия водосбора требованиям, предъявляемым для репрезентативных водосборов, восстанавливать его непродуктивно.

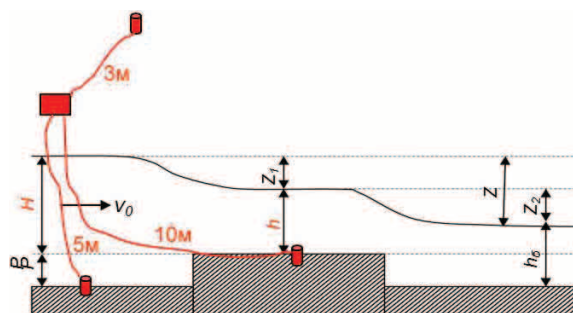


Рис. 1. Схема организации учёта стока воды на водопропускном сооружении с помощью САМУВ

Fig. 1. Scheme of the organization of the water runoff accounting at the culvert construction using SAMUW

Однако наблюдения были организованы своевременно и позволили получить гидрограф стока за экстремально сухой 2012 г. На рис. 2 видно, что осенние дождевые паводки 2013 г. превосходили снеговое половодье в 2012 г. Это объясняется тем, что засуха 2012 г. (из-за малоснежной зимы 2011–2012 гг.) привела к осушению деятельного

слоя заболоченных территорий (пересохший торф теряет водоудерживающую и водопропускную способность) и он перестал выполнять водорегулирующую функцию. По всей видимости, именно это создало предпосылки для возникновения оползневых процессов на водопропускной трубе под автотрассой.

Вторым модельным водосбором стал верхний левый приток реки Седэ-Яха в Ямало-Ненецком автономном округе на модельном участке Новый Уренгой – Пангоды (65°49'42" с. ш., 75°24'01" в. д.). Водосбор площадью 19 км² представляет собой участок лесотундры с преобладанием бугристых болот на песчаных грунтах и высокой степенью озёрности. На прирусловой наиболее дренированной территории встречается угнетённый лиственный лес. Наблюдения ведутся с августа 2014 г. Расчёт расхода выполняется по гидравлическим формулам для равномерного движения в естественных руслах [18] с коэффициентом шероховатости, вычисленным по инструментальным измерениям расхода воды. Уклон водной поверхности определяется по показаниям двух датчиков уровня воды.

Экспедиционные обследования этой территории до 90-х годов прошлого века проводил Государственный гидрологический институт (ГГИ) [20], сейчас там ведётся активная эксплуатация нефтегазовых месторождений.

Для исследуемого водосбора характерны существенные внутрисуточные колебания метеорологических элементов (рис. 3), которые приводят к существенным внутрисуточным амплитудам стока воды. На рисунке уровень воды определяется по левой шкале, а температура (°C) и относительная влажность (%) воздуха – по правой. К сожалению, наблюдения за метеорологическими параметрами были прерваны 16 мая 2015 г. ввиду попадания воды в блок управления. Для нас это стало полной неожиданностью, так как прибор был установлен в лиственном лесу на 2 м выше межени уровня в ближайшем ручье и в 15 м в сторону от него. Возможность затопления казалась нереальной. Однако резкое повышение 14 мая температуры воздуха до 14,3 °C вызвало такое же резкое увеличение снеготаяния на заболоченных частях водосбора и, как результат, повышение уровня воды до максимума 362 см в полночь 19 мая.

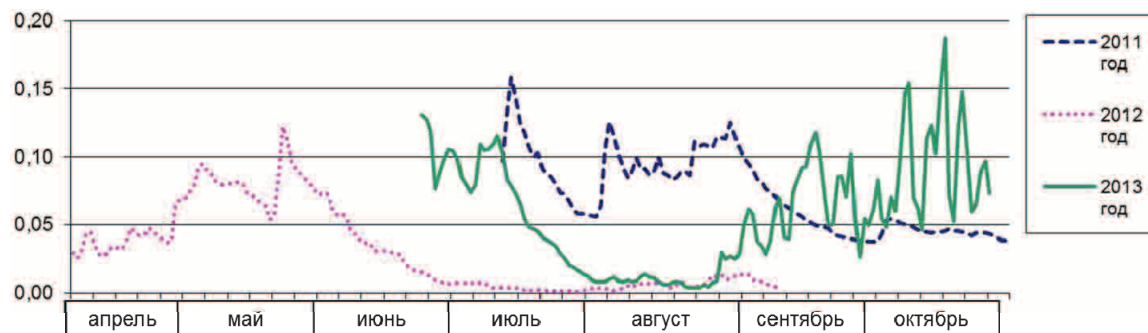


Рис. 2. Измеренные расходы воды в руч. Коровинском, м³/с

Fig. 2. Measured water flow into the Korovinskiy stream, m³/s

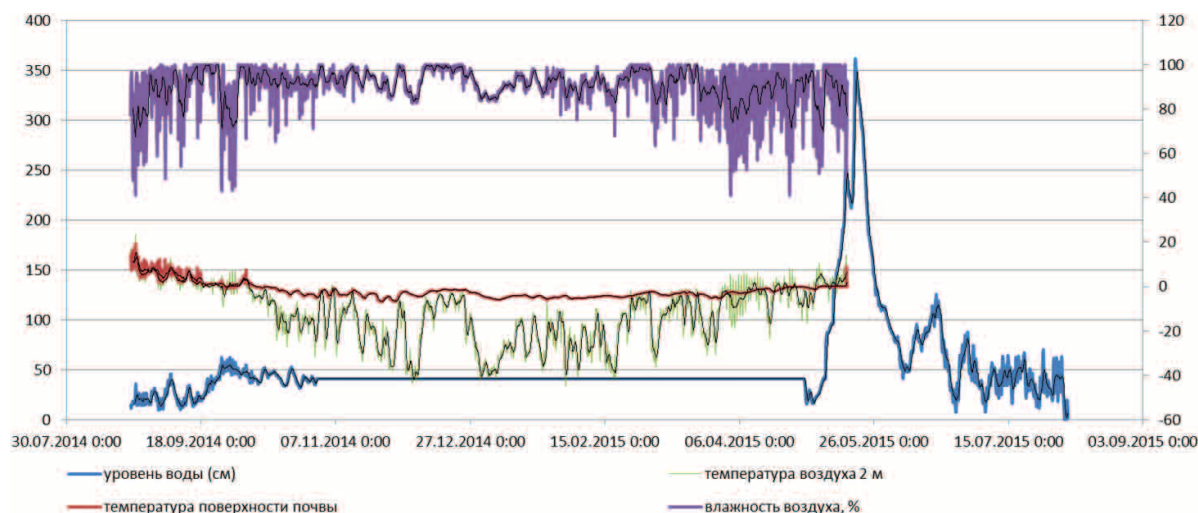


Рис. 3. Метеорологический и гидрологический режим на модельном участке Новый Уренгой – Пангоды

Fig. 3. Meteorological and hydrological regime at the model catchment Novy Urengoy – Pangody

Общая продолжительность пика половодья составила всего 2,5 недели (с 8 по 26 мая), после чего имели место паводки, вызванные выпадением дождевых осадков с наложением на базовый сток, состоящий из озерно-аккумулятивной воды и вод из растаявших грунтов, что подтверждает наличие в осенний период корреляционной связи стока воды с температурой деятельного слоя.

К сожалению, исследования на данном водосборе весьма затратны и проводятся эпизодически, что приводит к существенным разрывам в рядах наблюдений. Продолжение мониторинга на данном водосборе после 2016 г. по финансовым причинам, скорее всего, будет прекращено.

Третьим модельным водосбором стал «Северо-Алтайский модельный водосбор» в 30 км от Томска в бассейне реки Киргизка, на ручье Корольковском с площадью водосбора 1,99 км². Он отвечает всем необходимым требованиям и с 2015 г. является базовым для проведения комплексного ландшафтно-гидрологического (экосистемного) мониторинга.

Учёт стока ведется с помощью треугольного водослива с подтопленным нижним бьефом (рис. 4). Также на водосборе установлена экспериментальная система автоматического мониторинга элементов водного баланса (САМ ЭВБ). Данная система позволяет учитывать суммарный климатический сток за период наблюдений, которые проводятся в ручном режиме (взвешивание собранной воды с перерасчётом на слой стока). Поэтому система требует дальнейшей доработки – установки второго датчика для измерения интенсивности стока. Другие параметры (интенсивность поступления влаги при недостаточном увлажнении почвогрунта и скорость его иссушения за счёт испарения) определяются автоматически.

По данным САМ ЭВБ, за период с 25 июня по 26 августа 2015 г. климатический сток составил 126 мм, испарение – 90 мм, а продуктивные осадки – 219 мм. Русловый сток на водосливе за это время составил 71 мм, следовательно, запас влаги на водосборе за этот период увеличился на 55 мм.

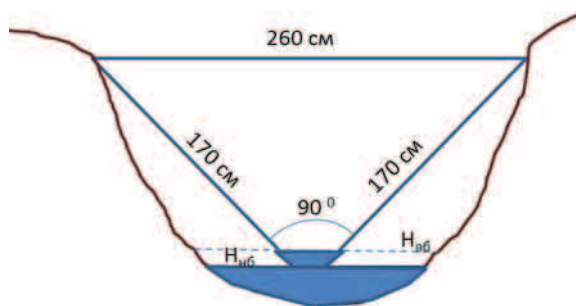
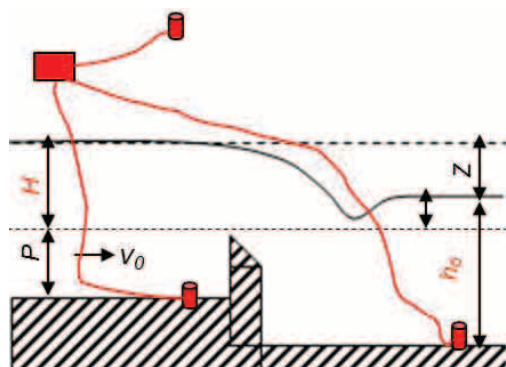


Рис. 4. Схема организации учёта стока воды с помощью САМУВ на треугольном водосливе с подтопленным нижним бьефом

Fig. 4. Scheme of the organization of the water runoff accounting using SAMW on the triangular weir with a partially drowned downstream

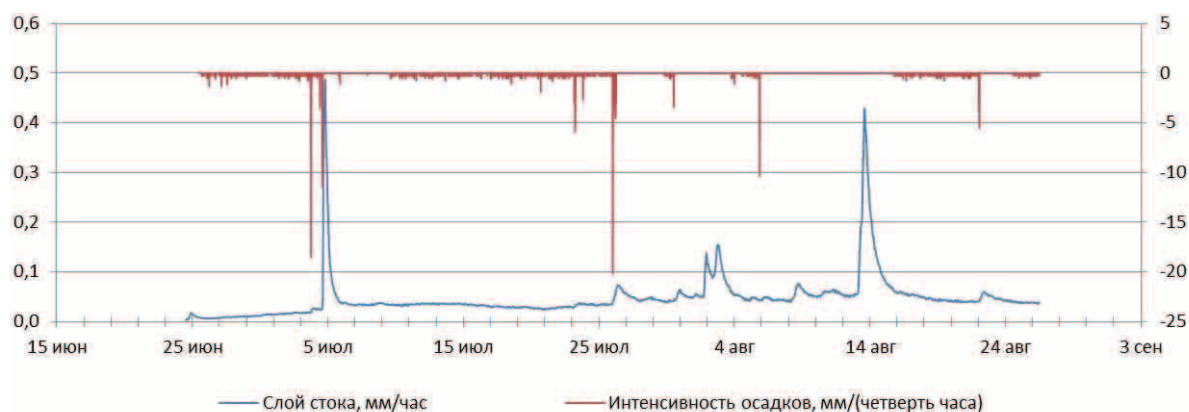


Рис. 5. Ход стока воды в ручье Корольковском в зависимости от увлажненности

Fig. 5. Speed of runoff water into the Korolkovskiy stream depending on the moisture content

Из рис. 5 следует, что, по данным САМ ЭВБ, максимальная интенсивность поступления влаги 20,1 мм/четверть часа наблюдалась 26 июля 2015 г. (правая шкала), после длительного засушливого периода, а потому эти осадки вызвали лишь незначительное повышение стока воды в ручье (левая шкала). В то же время 14 августа был паводок при насыщенных водой почвогрунтах и незарегистрированной интенсивности поступления осадков, так как почти все осадки пошли на формирование стока, а интенсивность стокообразования прибором не измеряется. Прямая линия интенсивности осадков на рис. 5 указывает на насыщенность почвогрунтов влагой, т. е. на избыточную увлажненность деятельного слоя.

Заключение

Организация полевых гидрометеорологических отрядов и обустройство водосборов автоматизированными системами мониторинга уровня и

температурного режима позволяет организовать учета стока воды на малых водотоках. Выявлена эффективность всех трёх рассмотренных способов организации учёта стока воды. Выбор схемы учёта стока определяется местными особенностями русла и наличием подходящих водопропускных сооружений, что встречается крайне редко.

Собранные уникальные данные по условиям формирования водного баланса и стока на малых водотоках создают основу для проведения долгосрочного мониторинга климатических изменений на ландшафтной основе, позволяют повысить точность прогноза опасных гидрологических явлений, достоверность расчёта водопропускных сооружений и обеспечить эффективную эксплуатацию микрогидроэлектростанций.

Анализ результатов наблюдений указывает на существенную роль увлажненности деятельного слоя водосборов при формировании экстремальных расходов воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Новиков С.М. Проблемы гидрологического изучения заболоченных территорий Западной Сибири в связи с их хозяйственным освоением // Метеорология и гидрология. – 1988. – № 11. – С. 108–116.
- Карнацевич И.В., Бикбулатова Г.Г., Ряполов К.В. Перспективы генетического метода расчета элементарного стока по суточным интервалам // Омский научный вестник. – 2011. – № 1 (104). – С. 224–231.
- Catchment scale estimates of flow path partitioning and water storage based on transit time and runoff modeling / C. Soulsby, K. Piegat, J. Seibert, D. Tetzlaff // Hydrological Processes. – 2011. – V. 25. – № 25. – P. 3960–3976.
- Bonta J.V., Muller M. Evaluation of the Glugla method for estimating évapotranspiration and groundwater recharge // Hydrological Sciences. – 1999. – № 44 (5). – P. 743–761.
- A combination of remote sensing data and topographic attributes for the spatial and temporal monitoring of soil wetness / M. Temimi, R. Leconte, N. Chaouch, P. Sukumal, R. Khanbilvardi, F. Brissette // Journal of Hydrology. – 2010. – № 388. – P. 28–40.
- Калинин В.М., Ларин С.И., Романова И.М. Малые реки в условиях антропогенного воздействия (на примере Восточного Зауралья). – Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 1998. – 220 с.
- Спицына Т.П., Куприянова Т.М., Охримов Е.А. Лесогидрологические процессы в бассейнах малых рек предгорий Восточных Саян // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 6. – С. 28–34.
- Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 168 с.
- Ткачев Б.П., Булатов В.И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы (Сер. «Экология». Вып. 64). – Новосибирск, 2002. – 114 с.
- Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Современные проблемы гидрологии. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 320 с.
- Родда Джон К. Исследования речных бассейнов // Грани гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – С. 309–354.
- Kopysov S.G. Evaluating water balance elements for hydro-morphic landscapes by hydrophysical properties of soil cover // Water Resources. – 2015. – V. 42. – № 1. – P. 23–27.
- Kopysov S.G., Erofeev A.A., Zemtsov V.A. Estimation of water balance over catchment areas taking into account the heterogeneity of their landscape conditions // International Journal of Environmental Studies. – 2015. – V. 72. – № 3. – P. 380–385. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00207233.2015.1010876> (дата обращения: 22.09.2015).

14. Копысов С.Г. Параметрический учет ландшафтных условий стока в методе гидролого-климатических расчётов // География и природные ресурсы. – 2014. – № 3. – С. 157–161.
15. Кураков С.А., Крутиков В.А., Ушаков В.Г. Автономный измеритель профиля температуры АИПТ // Приборы и техника эксперимента. – 2008. – № 5. – С. 166–167.
16. Копысов С.Г., Карпов А.В., Хон А.В. Автоматизированный учёт стока воды для изучения гидрологических характеристик ландшафта // Десятое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу. – Томск: Изд-во «Аграф-Пресс», 2013. – С. 73–74.
17. Савичев О.Г., Бернатонис П.В., Бернатонис В.К. Гидрологическое обоснование хозяйственного освоения торфяных болот (на примере водосбора реки Ключ, Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 155–162.
18. Рапинчук С.Ф. Гидравлика и гидрология. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 271 с.
19. Перевозников Б.Ф. Расчёты максимального стока при проектировании дорожных сооружений – М.: Транспорт, 1975. – 304 с.
20. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири / под. ред. С.М. Новикова. – СПб.: ВВМ, 2009. – 536 с.

Поступила 02.11.2015 г.

UDC 556.028

EXPERIENCE IN ORGANIZATION OF HYDROLOGICAL AND CLIMATIC OBSERVATIONS AT SMALL MODEL CATCHMENTS OF WEST SIBERIA

Sergey G. Kopysov,

National Research Tomsk State University, 36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050,
Russia; Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems,
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 10/3, Academicheskoy Avenue,
Tomsk, 634055, Russia. E-mail: wosypok@mail.ru

Roman V. Yarlykov,

National Research Tomsk State University, 36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050,
Russia. E-mail: yarlykov_92@mail.ru

The relevance of the work is due to insufficient observational data on small watercourses required for climate change monitoring, dangerous hydrological phenomena forecast, culvert installations calculation and efficient exploitation of micro-hydro power plants.

The main aim of the study: to justify the choice of optimum methods of automated water runoff accounting and hydrological and climate information collecting for modeling the dynamics of water-balance elements, as well as, to ensure an adaptive land management and the needs of hydrological and geochemical monitoring.

The methods used in the study. Of all the elements of water balance it is the surface water runoff that is most accurately measured, reflecting the current active layer moisture on a small watershed. Instruments (designed and manufactured at the Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of SB RAS) for the automatic monitoring of water level, of soil, water and air temperatures were established on three small catchments in the diverse climatic conditions. Model watersheds are located in a zone of oligotrophic swamps of southern taiga, in a zone of frost mound bog of forest tundra and mountain zone of southern taiga. Various methods of hydraulic calculations were used for water runoff account: the first one for free overfall round in section broadcrested weir, the second one for uniform motion in natural channels, the third one for the triangular weir with partial drowned downstream. To determine the surface roughness of a certain water flow the measurements of the flow were performed by means of a hydrometric method (current meter) or a volumetric method for low water discharge. The measurements of a level and other meteorological parameters were carried out with an interval of 1:00 and were saved in the control unit.

Key words:

Monitoring of runoff water, model catchment, water balance, forest tundra, southern taiga.

REFERENCES

- Novikov S.M. Problemy gidrologicheskogo izucheniya zabolochennykh territoriy Zapadnoy Sibiri v svyazi s ikh khozyaystvennym osvoeniem [Problems of hydrological study of wetlands in Western Siberia due to their economic development]. *Russian meteorology and hydrology*, 1988, no. 11, pp. 108–116.
- Karnatsevich I.V., Bikbulatova G.G., Ryapolov K.V. Perspektivy geneticheskogo metoda rascheta elementarnogo stoka po su-tochnym intervalam [Perspectives of genetic method for calculation of elementary run-off on daily intervals]. *Omsk Scientific Bulletin*, 2011, no. 1 (104), pp. 224–231.
- Soulsby C., Piegat K., Seibert J., Tetzlaff D. Catchment scale estimates of flow path partitioning and water storage based on transit time and runoff modeling. *Hydrological Processes*, 2011, vol. 25, no. 25, pp. 3960–3976.
- Bonta J.V., Muller M. Evaluation of the Glugla method for estimating évapotranspiration and groundwater recharge. *Hydrological Sciences*, 1999, no. 44 (5), pp. 743–761.
- Temimi M., Leconte R., Chaouch N., Sukumal P., Khanbilvardi R., Brissette F. A combination of remote sensing data and topographic attributes for the spatial and temporal monitoring of soil wetness. *Journal of Hydrology*, 2010, no. 388, pp. 28–40.
- Kalinin V.M., Larin S.I., Romanova I.M. *Malye reki v usloviyakh antropogennogo vozdeystviya (na primere Vostochnogo Zauralya)* [Small rivers under anthropogenic influence (on example of East Zauralye)]. Tumen, Tumen state University Press, 1998. 220 p.
- Spitsyna T.P., Kupriyanova T.M., Okhrimov E.A. Lesogidrologicheskie protsessy v basseynakh malykh rek predgoriy Vostochnykh Sayan [The forest hydrological processes in the small river basins of the Eastern Sayan Foothills]. *The Bulletin of Kras-GAU*, 2015, no. 6, pp. 28–34.
- Mezentsev V.S., Karnatsevich I.V. *Uvlazhnennost Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Wetness of West Siberian Plain]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1973. 168 p.
- Tkachev B.P., Bulatov V.I. *Malye reki: sovremennoe sostoyanie i ekologicheskie problemy* [Small rivers: state-of-the act and ecological problems]. Novosibirsk, 2002. 114 p.
- Vinogradov Yu.B., Vinogradova T.A. *Sovremennye problemy gidrologii* [Modern problems of hydrology]. Moscow, Akademiya Publ., 2008. 320 p.
- Rodda J.K. Issledovaniya rechnykh basseynov. *Grani gidrologii*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1980. pp. 309–354.
- Kopysov S.G. Evaluating water balance elements for hydro-morphic landscapes by hydrophysical properties of soil cover. *Water Resources*, 2015, vol. 42, no. 1, pp. 23–27.
- Kopysov S.G., Erofeev A.A., Zemtsov V.A. Estimation of water balance over catchment areas taking into account the heterogeneity of their landscape conditions. *International Journal of Environmental Studies*, 2015, vol. 72, no. 3, pp. 380–385. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00207233.2015.1010876> (accessed 22 September 2015).
- Kopysov S.G. Parametricheskii uchet landshaftnykh usloviy stoka v metode gidrologo-klimaticheskikh raschetov [The parametric inclusion of landscape runoff conditions in the method of hydroclimatic calculations]. *Geography and Natural Resources*, 2014, no. 3, pp. 157–161.
- Kurakov S.A., Krutikov V.A., Ushakov V.G. Avtonomnyy izmeritel profilya temperatury AIPT [Autonomous temperature profile gauge AIPT]. *Instruments and Experimental Techniques*, 2008, no. 5, pp. 166–167.
- Kopysov S.G., Karpov A.V., Khon A.V. Avtomatizirovannyi uchet stoka vody dlya izucheniya gidrologicheskikh kharakteristik landshafta [Automated water runoff calculations for hydrology characteristics study of the landscape]. *Desyatoe sibirskoe soveshchanie po klimato-ekologicheskomu monitoringu*, Tomsk, 2013. pp. 73–74.
- Savichev O.G., Bernatonis P.V., Bernatonis V.K. Gidrologicheskoe obosnovanie khozyaystvennogo osvoeniya torfyanykh bolot (na primere vodosbora reki Kluch, Zapadnaya Sibir) [Hydrological substantiation of economic development of marshes (the Kluch river basin, Western Siberia)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 321, no. 1, pp. 155–162.
- Rapinchuk S.F. *Gidravlika i gidrologiya* [Hydraulics and hydrology]. Moscow, Lesnaya promyshlennost Publ., 1982. 271 p.
- Perevoznikov B.F. *Raschety maksimalnogo stoka pri proektirovani dorozhnykh sooruzheniy* [Runoff calculations in road design]. Moscow, Transport Publ., 1975. 304 p.
- Gidrologiya zabolochennykh territoriy zony mnogoletney merzloty Zapadnoy Sibiri* [Wetland hydrology of permafrost zone of the Western Siberia]. St. Petersburg, BBM Publ., 2009. 536 p.

Received: 2 November 2015.