

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ НА МАЛЫХ РЕКАХ ПО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ ВОДЫ

Н.В. Ухов¹, М.В. Ушаков²

¹ Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, nukhov@mail.ru

² Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН

Представлены результаты изучения водности ручьев Кварцевого и Цветочного, расположенных в среднегорном районе Магаданской области. В ходе этих исследований разработан и опробован новый способ определения расхода воды малых рек в районе гидрографических узлов. Измерительный створ располагают в русле водотока с наиболее благоприятными условиями проведения гидрометрических работ выше слияния двух водотоков гидрографического узла. Расход воды в этом створе измеряют при помощи гидрометрической вертушки. Расход воды другого водотока определяют аналитическим путем по соотношению параметров физических или химических свойств воды. Способ позволяет объем полевых работ по определению расхода воды сократить практически вдвое. Предлагаемый подход будет полезен при проведении инженерно-гидрометеорологических и экологических изысканий, а также для регулярного мониторинга речного стока на сети Росгидромета.

Ключевые слова: расход воды, водоток, инженерно-гидрометеорологические изыскания, гидрографический узел.

DETERMINATION OF WATER DISCHARGE IN SMALL RIVERS BY PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS

N.V. Ukhov¹, M.V. Ushakov²

¹ Institute of Biological Problems of the North

² North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n.a. N.A. Shilo

The paper presents the results of a study of the water discharge of the Quartzeyvi and Tsvetochny Creeks located in the mid-mountain area of the Magadan Region. In the course of these studies, a new method for determining flow rates of small rivers in the area of hydrographic units has been developed and tested. According to this method, the measuring section is located in the channel of the watercourse with the most favorable hydrometric conditions above the confluence of two watercourses of the hydrographic unit. The water discharge in this cross section is measured using a hydrometric flow meter. The discharge of another watercourse is determined analytically by the ratio of the parameters of physical or chemical water properties. This method allows halving the volume of fieldwork for estimating the water discharge. The proposed approach will be useful during hydrometeorological engineering and environmental surveys, as well as for regular monitoring of river flow of the Roshydromet network.

Keywords: water discharge, watercourse, hydrometeorological engineering surveys, hydrographic unit.

Введение

В Тенькинском городском округе Магаданской области по заказу ЗАО «Сусуманзолото» в 2012 и 2015 гг. для обоснования проекта реконструкции золотоизвлекательной фабрики на месторождении «Ветренское» полевым отрядом ООО «Геофизстрой» проводились комплексные инженерные изыскания, включающие гидрологические и экологические наблюдения.

При проведении подобных изысканий зачастую приходится организовывать сеть временных гидрометрических створов для измерения расхода воды [6]. Следует отметить, что в горных районах бассейна Верхней Колымы на режим малых водотоков существенное влияние оказывают дополнительные источники влаги, образующиеся в результате таяния наледей и так называемого гольцового льда [1]. В связи с этим гидрологический режим водотоков бассейна ручья Кварцевого характеризуется некоторыми особенностями, проявляющимися в сезонном и частично межгодовом перераспределении стока за счет накопления гольцового и наледного льда в холодный период года и поступлении талых вод в теплый период года [8]. Во второй половине прошлого столетия начался процесс глобального потепления, который особенно активно развивался в северных широтах [4]. В результате этого активизировалось таяние поверхностного и подземного льда, что привело к увеличению стока [2, 7, 9].

Помимо природных факторов, на расход воды ручья Цветочного существенное влияние оказывает ряд техногенных факторов, включая зарегулированность стока плотиной хвостохранилища и поступление подземных вод из водопровода, протянутого с низовьев ручья Кварцевого до золотоизвлекательной фабрики рудника «Ветренский». Кроме того, в среднем течении ручья его долина погребена под отходами обогащения. Притоки ручья Цветочного также подверглись техногенному воздействию; так, например, выше хвостохранилища долина ручья засыпана отвалами из крупных обломков горных пород.

Таким образом, в связи с высокой динамикой природно-техногенных факторов для решения вопросов гидротехнического строительства и прогнозирования экологических условий потребовалось непосредственное изучение режима стока ручьев Кварцевого и Цветочного. Для этого в гидрографическом узле ручьев проводились измерения расхода воды в периоды весеннего половодья и межени классическим методом с определением скорости течения вертушкой, а также определения физико-механических свойств воды — температуры и минерализации. По расходу ручья Цветочного (створ № 1) и соотношению физико-химических свойств воды в трех створах вычисляется расход воды ручья Кварцевого (створ № 3). Сравнение вычисленных по физико-химическим параметрам значений расхода ручьев с измеренными классическим способом позволяет обосновать достоверность нового способа.

Целью данной работы является описание нового способа определения расхода малых рек, который позволил зарегистрировать не имеющее аналогов изобретение [3, 5].

Объекты и методы исследований

Для гидрологического обоснования проектных решений гидротехнического строительства и прогнозирования экологических условий при реконструкции золотоизвлекательной фабрики на золоторудном месторождении «Ветренское» гидрологические работы осуществлялись в верховьях ручья Кварцевого.

Ручей Кварцевый имеет общую длину 17 км, в него впадает 23 водотока. Средний уклон ручья Кварцевого около гидрографического узла составляет 29 %.

Объектами исследований в районе были ручей Кварцевый (площадь водосбора 2,7 км²) и его правый приток — ручей Цветочный (площадь водосбора 1,7 км²) (рис. 1). Ручей Цветочный характеризуется наиболее благоприятными условиями для измерений расхода, так как выше устья русло ручья ровное, прямое и сложено мелким галечником; течение там спокойное. В целом русло ручья Кварцевого слабоизвилистое, с крутыми берегами, глубиной вреза до 1,2—1,5 м, каменистое, сложено во многих местах щебенистым материалом, изобилует крупными камнями, корягами и упавшими деревьями. Русло ручья Кварцевого в районе гидрографического створа извилистое. Пойма ручья слабо развита, сложена мелкоземом с примесью крупнообломочного материала и покрыта растительностью.

В распоряжении изыскателей имелись следующие приборы: гидрометрическая вертушка ГР-55, а также современные высокоточные цифровые приборы для определения физико-химических параметров воды — WaterLiner WMM-6, DIST 4, CONDRES (TDS) для определения минерализации и термочувствительный кварцевый резонатор типа РКТ206, AZ 8651рН/ORP для определения водородного показателя рН.

На гидрографическом узле в створах № 1 и 2 измерялся расход воды классическим методом «скорость — площадь», при этом скорость воды в ручьях определялась гидрометрической вертушкой ГР-55. Расход в створе № 3 рассчитывался путем арифметического сложения значений расхода в створах № 1 и 2. Трудозатраты можно снизить, если использовать различия в физико-химических параметрах воды в ручьях для определения расхода воды. Таким образом, достаточно будет измерить расход классическим методом в одном из створов — № 1 или № 2. После того как воды ручья Цветочного попадают в хвостохранилище, их минерализация возрастает и температура повышается. Поэтому были использованы наиболее контрастные физико-химические показатели (маркеры): температура и минерализация.

В трех створах гидрографического узла практически одновременно определялись температура и минерализация. Содержание растворимых веществ в воде измерялось электронными приборами CONDRES (TDS) и WaterLiner WMM-6 с точностью измерения 1 мг/л, температура измерялась при помощи эталонного (прецизионного) термометра с точностью измерения температуры 0,01 °С

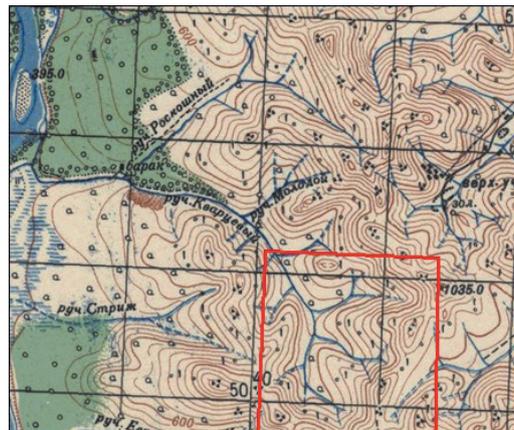


Рис. 1. Фрагмент карты М 1:100 000 с выделенным красной рамкой участком гидрологических исследований в верховьях ручья Кварцевого.

Fig. 1. Fragment of the map M 1: 100 000 with a red hydrological exploration plot in the upper reaches of the Quartzzevyj Creek.



Рис. 2. Общий вид района проведения гидрометрических работ на месторождении «Ветренское» в верховьях ручья Кварцевого (створы № 1, 2 и 3).

Fig. 2. View of the hydrometric survey site, at the Vetrenskoye field in the upper reaches of the Quartzevyj Creek (alignments No. 1, 2, 3).

с термочувствительным кварцевым резонатором типа РКТ206. Одновременно с этим вертушкой ГР-55 определялись расходы в ручьях Цветочном и Кварцевом выше места их слияния.

Наиболее благоприятные условия для измерения расхода воды имеются в ручье Цветочном (рис. 3). Результаты этих измерений принимались за базовые, а расходы ручья Кварцевого определялись с использованием соотношения температуры и минерализации во всех трех створах (рис. 4).

Предлагаемый новый метод измерения расхода базируется на следующих рассуждениях. Для рассматриваемого гидрографического узла справедливы уравнения

$$Q_3 = Q_1 + Q_2, \quad (1)$$

$$(Q_1 + Q_2)P_3 = Q_1P_1 + Q_2P_2, \quad (2)$$

где Q_1 , Q_2 и Q_3 — расход воды в створах № 1, 2 и 3; P_1 , P_2 и P_3 — физические или химические параметры воды в створах № 1, 2 и 3.

Из уравнения (2) следуют равенства

$$Q_1 = Q_2(P_2 - P_3)/(P_3 - P_1), \quad (3)$$

$$Q_2 = Q_1(P_1 - P_3)/(P_3 - P_2). \quad (4)$$

Иначе говоря, чтобы определить расход воды в створах № 1 или № 2, достаточно измерить расход воды классическим способом только в одном из них и определить физические или химические параметры воды во всех трех створах (например, температуру, минерализацию, содержание отдельных ионов, изотопов или pH).

Результаты и их обсуждение

Измерения проводились в период весеннего половодья (21 мая) и в летнюю межень (16 июля). Следует отметить, что весной вследствие загрязнения пылью поверхности бассейна ручья Цветочного половодье в нем началось на неделю раньше, чем в ручье Кварцевом. Расход воды в створах № 1 и 2 (см. рис. 4) измерялся при помощи вертушки; одновременно в створах № 1, 2 и 3 определялись температура воды и ее минерализация. Результаты определения расхода водотоков гидрографического узла по классическому методу и с использованием некоторых физико-химических параметров (температура и минерализация) приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Результаты определения расхода в период половодья (21 мая)
с помощью предлагаемого и классического способов

The results of determining the water discharges during the flood period (May 21) according
to the proposed and classical methods

Номер створа	Температура воды, °С	Минерализация воды, мг/л	Расход воды (л/с), определяемый			Отклонение (%) от классического способа	
			по температуре	по минерализации	при помощи вертушки	по температуре	по минерализации
1	7,61	773	—	—	85,3	—	—
2	2,51	4	427	444	438	-2,5	1,4
3	3,36	128	—	—	523*	—	—

* Сумма расходов по створам № 1 и 2.

Таблица 2

Результаты определения расходов в межень (16 июля)
с помощью предлагаемого и классического способов

The results of determining the water discharges at low water (July 16)
by the proposed and classical methods

Номер створа	Температура воды, °С	Минерализация воды, мг/л	Расход воды (л/с), определяемый			Отклонение (%) от классического способа	
			по температуре	по минерализации	при помощи вертушки	по температуре	по минерализации
1	14,66	423	—	—	49,1	—	—
2	8,16	92	23,4	24,8	23,7	-1,3	4,6
3	12,56	312	—	—	72,8*	—	—

* Сумма расходов по створам № 1 и 2.

Результаты определения расходов ручья Кварцевого в створе № 2 по двум параметрам воды — температуре и минерализации — показывают, что отклонения значений расхода, полученных с помощью предлагаемого способа, от полученных классическим способом «скорость — площадь», не превышает 5 %.



Рис. 3. Русло нижней части ручья Цветочного в районе створа № 1.

Fig. 3. The channel of the lower part of the Cvetochnyj Creek in the area of the alignment No. 1.

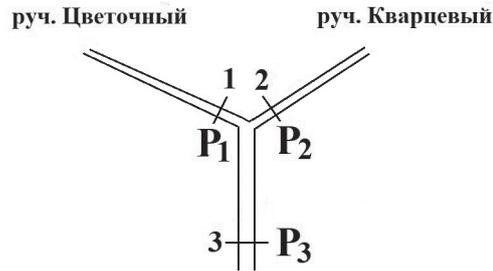


Рис. 4. Схема размещения измерительных створов ручьев Кварцевого и Цветочного в районе гидрографического узла.

Цифрами 1, 2 и 3 обозначены измерительные створы № 1, 2 и 3;
 P — параметры, измеряемые в створах.

Fig. 4. The layout of the measuring sections of the Quartzevyj Creek and Cvetochnyj Creek in the area of the hydrographic unit.

The numbers 1, 2 and 3 indicate the measuring alignments No. 1, 2 and 3;
 P — parameters measured in alignments.

Следовательно, предлагаемый способ определения расхода на гидрографических узлах с использованием физико-химических показателей воды пригоден для практического использования.

Как показали результаты проведенных авторами полевых исследований на месторождении Ветренское, в качестве «маркеров» можно применять любые показатели физико-химических свойств воды, значения которых в малых водотоках наиболее существенно различаются. Для ручьев Кварцевого и Цветочного такими «маркерами» являются температура и минерализация.

Предлагаемый способ может найти применение для решения собственно гидрологических задач определения расхода водотоков в случае неблагоприятных условий, а также мониторинга водности малых водотоков в процессе стационарных исследований.

Таким образом, расход воды определяется по следующей схеме:

- в гидрографическом узле (см. рис. 4) выбирается створ (№ 1 или 2) с наиболее благоприятными условиями для измерения расхода воды при помощи вертушки и в этом створе определяется расход;
- во всех трех створах определяются физические или химические параметры воды (температура, минерализация, содержание отдельных ионов, pH, окислительно-восстановительный потенциал и т. п.);
- по формуле (3) или (4) вычисляется расход воды в другом створе;
- по формуле (1) вычисляется расход в створе № 3.

Предлагаемый способ расширяет возможности определения расхода воды при инженерно-гидрометеорологических и экологических изысканиях. Заслуживает внимание вопрос применения этого способа для регулярного изучения стока на сети Росгидромета.

Заключение

Поведенные гидрологические исследования по определению расхода воды позволяют рекомендовать этот способ для определения расхода воды малых рек при проведении инженерно-гидрологических и инженерно-экологических изысканий и для мониторинга их водности.

Применение предлагаемого способа позволяет решить следующие задачи:

— снижение затрат времени и средств на определение расхода водотоков примерно в два раза;

— повышение надежности определения расхода воды в отдельных водотоках с неблагоприятными условиями для измерения расхода вертушкой, например в случае извилистого неустойчивого русла, при наличии крупных (относительно размеров водотока) камней, деревьев, коряг и т. п.

Таким образом, предлагаемый способ определения расхода воды водотоков сокращает трудозатраты, а в случаях наличия в одном из русел крупного обломочного материала или закорчеванности повышает точность определения расхода. Применение этого способа на больших и средних реках требует дополнительных полевых испытаний.

Список литературы

1. Банцеккина Т.В. Температурный режим и динамика льдистости крупнообломочных отложений без заполнителя в весенне-летнее время (на примере руч. Контактный) // Колыма. № 4. 2003. С. 9—13.
2. Засыпкина И.А., Самохвалов В.Л., Ухов Н.В. Анализ водности рек и изменение климата в бассейне Верхней Колымы // Успехи современной науки. № 8, т. 2. 2016. С. 7—10.
3. Способ определения расходов водотоков / М.В. Ушаков, Н.В. Ухов. Заявка № 2016111805 Российская Федерация (заявл. 29.03.2016; опубл. 02.01.2017) // Бюл. изобр. 2017. № 28.
4. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1: Изменение климата. 2008. М.: Росгидромет. 277 с.
5. Патент № 2655213. Российская Федерация, МПК E02B3/00. Способ определения расходов водотоков / М.В. Ушаков, Н.В. Ухов. Заявка № 2016111804 (заявл. 29.03.2016; опубл. 31.10.2018) // Бюл. изобр. 2018. № 31.
6. СП 11-103-97. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. М.: Госстрой России, 2004. 30 с.
7. Ушаков М.В., Лебедева Л.С. Климатические изменения режима формирования притока воды в Колымское водохранилище // Научные ведомости БелГУ. Естественные науки. 2016. Вып. 37. № 25 (246). С. 120—127.
8. Факторы формирования общего стока малых горных рек в Субарктике (по материалам Колымской воднобалансовой станции) / Под ред. В.Е. Глотова, Н.В. Ухова. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. 204 с.
9. Woo M., Consequences of Climatic Change for Hydrology in Permafrost Zones. J. Cold Regions Engineering. 1990. V. 4, No. 1. P. 15—20.

References

1. *Bancekina T.V.* The temperature regime and ice dynamics of coarse clastic sediments without aggregate in spring and summer (for example, Kontaktovy Creek). *Kolyma*. Kolyma. 2003, 4: 9—13. [In Russian].
2. *Zasyapkina I.A., Samohvalov V.L., Uhov N.V.* Analysis of river water flow and climate change in the Upper Kolyma basin. *Uspehi sovremennoj nauki*. Successes of modern science. 2016, 8(2): 7—10. [In Russian].
3. *Sposob opredelenija rashodov vodotokov*. The method of determining the discharge of water. *M.V. Ushakov, N.V. Uhov. Zayavka № 2016111805 Russian*. Federacziy (Stated 29.03.2016; Published 02.01.2017). Invention Bulletin. 2017, 28. [In Russian].
4. *Otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii*. Estimation report on climate changes and their consequences on the territory of Russian Federation. V. 1. Climate changes. Moscow: Roshydromet, 2008: 227 p. [In Russian].
5. Patent № 2655213 Russian Federation, МИК E02B3/00. *Sposob opredelenija rashodov vodotokov*. The method of determining the discharge of water. *M.V. Ushakov, N.V. Uhov. Zayavka № 2016111805* (Stated 29.03.2016; Published 31.10.2018). Invention Bulletin. 2018, 31. [In Russian].
6. *SP 11-103-97. Inzhenerno-gidrometeorologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva*. Code of Practice 11-103-97. Hydrometeorological engineering surveys for construction. Moscow, Gosstroy, 2014: 30 p.
7. *Ushakov M.V., Lebedeva L.S.* Climatic changes in the mode of formation of water inflow into the Kolyma reservoir. *Nauchnye vedomosti BelGU. Estestvennye nauki*. Scientific reports of the Belgorod State University. Natural Sciences. 2016, Issue 37, 25(246): 120—127. [In Russian].
8. *Factory formirovaniya obshhego stoka malyh gornyh rek v Subarktike (po materialam Kolymskoj vodnobilansovoj stancii)*. Factors of formation of the total runoff of small mountain rivers in the Subarctic (based on materials from the Kolyma water-balance station) / Edited by V.E. Glotov, N.V. Uhov. Magadan: SVKNII DVO RAN, 2002: 204 p. [In Russian].
9. *Woo M.* Consequences of Climatic Change for Hydrology in Permafrost Zones. *J. Cold Regions Engineering*. 1990, 4 (1): 15—20.

Статья поступила 30.08.2019

Принята после повторного рецензирования 26.11.2019

Сведения об авторах

Ухов Николай Васильевич — канд. геол.-минерал. наук, доцент, старший научный сотрудник Института биологических проблем Севера (ИБПС) Дальневосточного отделения Российской академии наук (ДВО РАН), ukhov@mail.ru

Ушаков Михаил Вилорович, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института им. Н.А. Шило (СВКНИИ) Дальневосточного отделения Российской академии наук (ДВО РАН), mvilorih@narod.ru

Information about author

Ukhov Nikolay Vasilievich, Ph.D (Geological and Mineralogical Sciences), Associate Professor, Senior Researcher, Institute of Biological Problems of the North (IBPN), Far Eastern Branch of the Russian Academy of Science (FEB RAS)

Ushakov Mikhail Vilorovich, Ph.D (Geographical Sciences), North-East Complex Research Institute (NECRI) of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (FEB RAS)