

Гидрология и метеорология

Режим скоростей течения воды в некоторых реках Западного Урала и Приуралья

А. М. Комлев

Скорость течения является одним из важных элементов водного режима рек. Систематическое измерение скоростей осуществляется на гидрологических постах в процессе определения расходов воды. Отдельный анализ режима скоростей в рамках структуры государственного водного кадастра, к сожалению, не проводится. Сведения о скоростях течения на неизученных реках или на участках рек между гидрологическими постами отсутствуют.

Между тем сведения о режиме скоростей течения представляют большой интерес для изучения многих процессов, происходящих в реках. Эти сведения необходимы в частности для исследования русловых деформаций, для оценки скорости движения по рекам ледяных полей, загрязняющих веществ, особенно при их аварийных выбросах, для уточнения условий формирования рассыпных месторождений полезных ископаемых. В связи с этим и был выполнен предварительный анализ скоростей течения воды в 16 створах водомерных постов, расположенных на реках Западного Урала и Приуралья, относящихся к бассейну Камы (табл. 1). При этом использованы данные таблиц «Измеренные расходы воды» (ИРВ), публиковавшиеся ранее в Гидрологических ежегодниках. Большая часть приведенных ниже сведений относится к 1974 г. [4], водность которого была на 15-20 % выше средней. Частично использованы также данные за 1960 г. [3], водностью ниже средней примерно на 15 %. Часть помещенных в табл. 1 сведений заимствована также из изданий государственного водного кадастра [5, 8, 9].

Как видно из данных таблицы, средние по живому сечению скорости течения воды сильно различаются в разные фазы водного режима рек и, естественно, неодинаковы в горных, полугорных и горных реках. Так, в 1974 г. максимальные скорости на пике весеннего половодья изменялись по исследуемым рекам от 0,83 до 2,03 м/с и эти значения превышали скорости течения в период летне-осенней межени от 3 до 15 раз, что связано с большим разнообразием условий формирования скоростного режима. Более детальный анализ за другие годы наблюдений безусловно расширит приведенные пределы.

Как уже отмечено выше, скорости течения воды в реках измеряются обычно для оценки расхода воды. Однако в практике инженерно-гидрологических расчетов по неизученным рекам часто возникает задача косвенной оценки скорости, обычно максимальной, для приближенного определения максимального расхода воды.

Н.Б. Барышников и И.В. Попов [2] разделили формулы для этой оценки на две группы. Вторая группа эмпирических формул отличается тем, что коэффициент шероховатости русла, влияющий на скорость течения, непосредственно не определяется, поскольку это определение несколько субъективно. Считается, что «... поток сам вырабатывает себе русло и поэтому коэффициент Шези определяется в зависимости от свободной поверхности и глубины» [2].

Возможность определения скорости без учета коэффициента шероховатости отмечал ранее и В.А. Огиевский, обосновывая это тем, что «... фактор шероховатости русла установившейся реки сам должен быть некоторой функцией уклонов, глубины и скоростей...» [6].

Д.Л. Соколовский в соответствии с таким подходом для определения максимальных расходов дождевых паводков на неизученных реках предложил формулу

$$v_{\max} = 17,0I^{0,40}h^{0,50},$$

где v_{\max} – максимальная скорость в створе; I – уклон русла; h – средняя глубина по живому сечению при максимальном его наполнении [10].

Из этого следует, что на конкретном участке реки при сравнительно постоянном уклоне русла скорость движения воды определяется главным образом средней толщиной слоя этой воды $h_{\text{ср}}$. Следовательно эту величину можно выразить и через расход воды Q ($\text{м}^3/\text{с}$), если по известной или заданной его величине поставить задачу вычисления скорости. Впервые эту задачу поставил и предложил расчетную формулу М.М. Протодьяков [7]. В последующем эмпирические формулы для оценки максимальной скорости с использованием величины расхода воды были предложены Г.А. Алексеевым [1], Д.Л. Соколовским [10], М.Ф. Срибным [11].

Необходимо подчеркнуть, что все указанные формулы использовались для оценки лишь максимальной скорости. В данном же случае сделана попытка рассмотреть характер связи основных элементов потока для всего диапазона изменения расходов воды. С этой целью проанализированы графики связи средней скорости течения $v_{\text{ср}}$ со средней глубиной $h_{\text{ср}}$, а также с соответствующим расходом воды (Q). Последние, для удобства сравнения по разным рекам, выражены затем в виде $v_{\text{ср}} = f(\sqrt{Q})$.

Известно, что четкие связи средней скорости со средней глубиной наблюдаются только при открытом русле, свободном от растительности, а также при отсутствии других факторов, нарушающих естественный режим стока. С началом зарастания русла скорости при тех же значениях $h_{\text{ср}}$ снижаются и на разных реках это снижение различно. По примерным оценкам оно составляло, например, в р. Сылве у пгт. Шамары 15-30 %, в р. Косье у д. Останино – около 50 %, а в р. Иньве у г. Кудымкара снижение скорости в 1974 г. при зарастании происходило в 2-3 раза. Возможно в последнем случае сказалось влияние и других факторов, резко изменяющих уклон водной поверхности (в 30 м выше гидроствора находится мост, в 50 м ниже – пережат) [3].

В отличие от этого, связи средней скорости с расходом воды обычно устойчивы в течение всего периода открытого русла, а во многих случаях и зимой, что можно видеть на примере р. Яйвы (рис. 1). Следовательно, эти связи можно использовать для оперативной оценки средней скорости течения на участке гидроствора, соответствующей любому заданному значению расхода воды. Исключение могут составить только реки с неустойчивым руслом. Не представит сложности и одновременное определение максимальной скорости, поскольку она достаточно устойчиво связана со средней.

Таблица 1

Основные характеристики водного режима рек за период открытого русла по материалам гидрометрических наблюдений [4, 5, 8]

№ п/п	Река – пункт	Площадь бассейна, км ²	Средняя высота бассейна, м	Средние многолетние расходы воды, м ³ /с		Средняя глубина русла, м		Средняя скорость течения, м/с			Средние уклоны, ‰	
				годовой	максимальный	макс.	мин.	макс.	мин.	макс. мин.	по топографической карте	по гидрометрическим набл.
1	Весляна - пос. Оныл	7100	194	(64,0)	495	4,54	1,34	1,02	0,26	3,92	–	0,15
2	Коса – с. Коса	6340	186	40,8	452	4,56	2,49	1,20	0,37	3,24	0,09	0,10
3	Пильва -у. Усть-Кайб	1870	176	17,6	134	3,61	1,06	0,95	0,21	4,52	0,09	0,20
4	Кутим – д. Кутим	504	598	11,2	106	0,99	0,37	2,03	0,65	3,13	5,50	4,20
5	Колва – д. Петрецова	2830	274	37,9	434	3,56	0,98	1,56	0,18	8,67	0,34	0,22
6	Яйва – пос. База	3630	(360)	61,8	787	4,18	1,19	1,84	0,12	15,3	–	–
7	Яйва - пос. Усть-Игум	5230	320	(70,0)	891	4,26	1,16	1,09	0,21	5,19	0,24	(0,50)
8	Иньва – г. Кудымкар	2050	209	11,5	198	3,31	0,45	0,83	0,11	7,55	0,16	0,20
9	Косьва – д. Останино	6220	392	85,2	692	3,27	0,43	1,52	0,27	5,63	0,42	(0,42)
10	Койва – пгт. Кустье-Александровский	1790	374	20,9	249	2,34	0,66	1,27	0,15	8,47	0,87	0,72
11	Усьва – пгт. Усьва	2170	456	30,8	404	1,91	0,50	1,36	0,25	5,44	1,75	1,50
12	Сылва – пгт. Шамары	3130	322	30,0	430	3,02	0,63	1,20	0,21	5,71	0,60	0,58
13	Барда – д. Синюшата	1910	247	21,9	200	3,08	1,11	1,13	0,13	8,69	0,25	0,14
14	Ирень – д. Шубино	6060	233	38,0	374	4,71	2,49	1,16	0,21	5,52	0,24	0,20
15	Бабка – д. Балалы	1980	237	14,8	202	2,77	0,80	0,87	0,15	5,80	0,58	(0,55)
16	Тулва – с. Барда	1890	216	13,3	413	2,56	0,78	1,77	0,15	10,8	–	(0,42)

Примечание: в скобках приведены сведения, определенные с меньшей точностью.

По результатам расчетов, выполненных Н.В. Пермяковым, коэффициент $k = \frac{v_{\max}}{v_{\text{ср}}}$ изменяется по исследованным рекам от 1,07 (р. Кутим) до 1,44 (р. Барда), однако чаще он находится в пределах 1,25-1,35. При необходимости его значения могут быть уточнены для каждого гидроствора по результатам гидрометрических наблюдений. Это уточнение может быть использовано и для решения обратной задачи, т.е. фиксации максимальной скорости для определения $v_{\text{ср}}$ и Q при отсутствии возможности более детальных измерений расхода воды (ледоход, катастрофический паводок и др.).

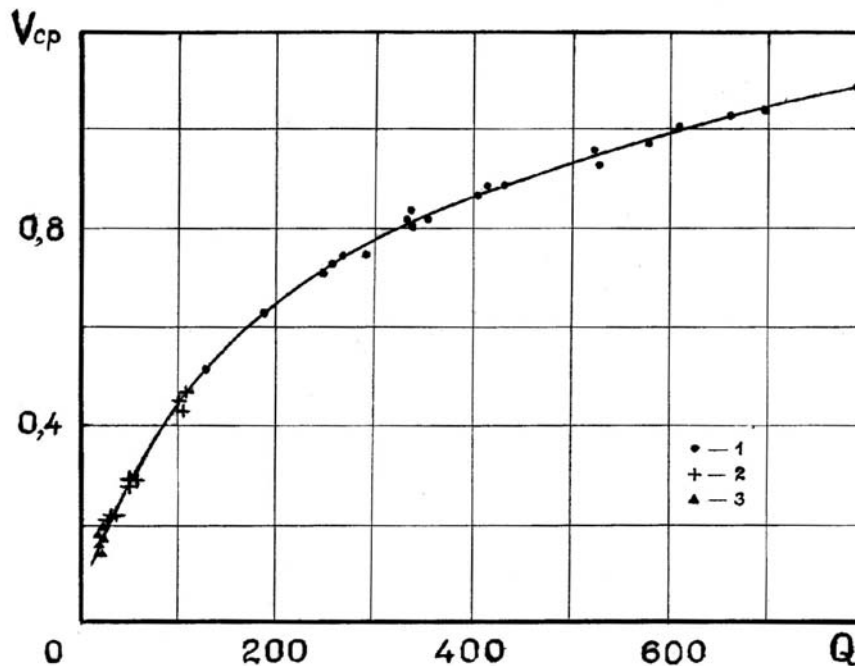


Рис. 1. Связь средней скорости течения ($v_{\text{ср}}$, м³/с) с расходом воды (Q , м³/с) в р. Яйве у пос. Усть-Игум в 1974 г.:

1 – открытое русло, 2 – зарастание, 3 – ледяной покров

Сравнение графиков связи $v_{\text{ср}} = f(\sqrt{Q})$ по исследуемым рекам показало их большое различие, связанное прежде всего с различием уклонов. Сведения об уклонах водной поверхности на участках расположения гидростворов, которые публиковались в таблицах ИВР, очень отрывочны. За многие годы по исследуемым рекам они просто отсутствуют, за некоторые годы – единичны и относятся только к одной фазе водного режима. Изредка встречающиеся более полные данные показывают, что значения уклонов в разные фазы (половодье, межень, зарастание русла) изменяются по разным рекам в 2-7 раз. Чаще наименьшие значения уклонов приурочены к летне-осенней межени, однако есть и исключение (р. Тулва).

В связи с указанным обстоятельством для примерной оценки уклона русла использованы топографические карты, на которых зафиксированы отметки уровня воды. Тщательное измерение расстояния между такими отметками на участках, примыкающих к гидростворам (длиной от 5 до 32 км) и вычисление среднего уклона были выполнены В.Г. Калининым, а результаты любезно предоставлены автору.

Использование указанных значений уклонов не привело, к сожалению, к четкому разделению линий связи $v_{\text{ср}} = f(\sqrt{Q})$ только по этому признаку. Не изменилась си-

туация и после анализа осредненных значений уклонов водной поверхности, оказавшихся во многих случаях близкими к уклонам русла, полученным по картам. Четко разделились по уклонам связи $v_{cp} = f(\sqrt{Q})$ лишь по нескольким постам (рис. 2).

Таким образом, с помощью определенного по карте среднего уклона и заданного значения расхода воды можно, очевидно, пытаться оценить лишь очень ориентировочную величину средней скорости течения на неизученном участке реки.

Более близкая оценка скорости может быть произведена только с учетом третьего фактора – шероховатости русла, меняющейся в зависимости от глубины и ширины водного сечения русла и степени его зарастания [2, 6]. Именно поэтому Д.Л. Соколовский формулу для оценки максимальной скорости без учета шероховатости рекомендовал только для условий максимального наполнения русла [10], а Г.А. Алексеев в свою формулу для оценки v_{max} ввел переменный параметр шероховатости, да и то только для рек-аналогов [1].

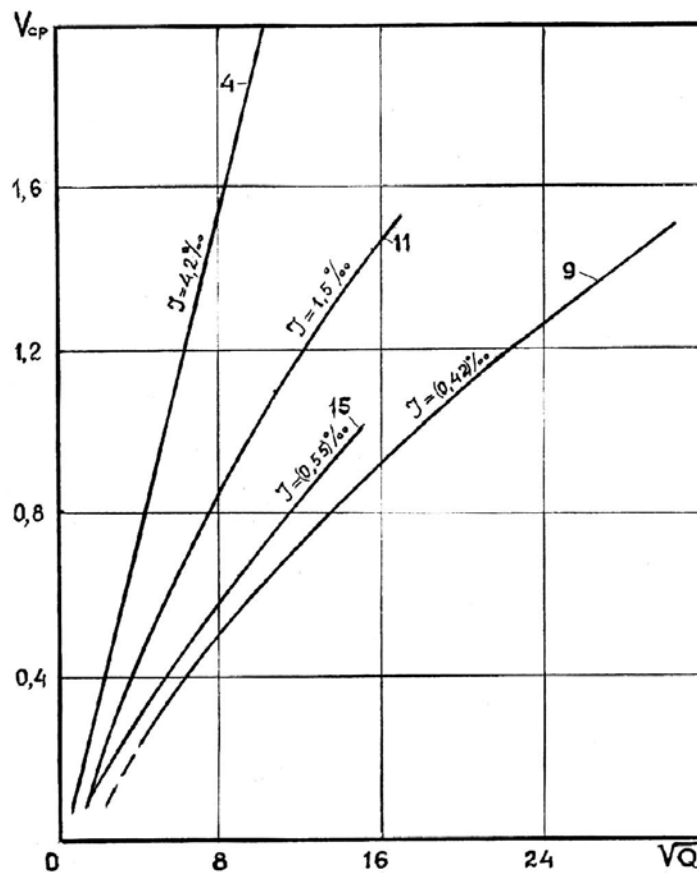


Рис. 2. Связи средних скоростей течения (v_{cp} , м/с) и расходов воды (\sqrt{Q} , м³/с)
4, 9, 11, 15 – номера постов по табл. 1

Различие влияния шероховатости можно рассмотреть на примере двух рек, средний уклон для которых на участках гидростворов, определенный указанным способом, в обоих случаях равен 0,42% (табл. 2, рис. 3).

Таблица 2

Ширина B , м, средняя глубина h_{cp} , м, и площадь живого сечения w , m^2 , а также средняя скорость течения v_{cp} , м/с при разных значениях расхода воды Q , m^3/c по данным [4]

Q	р. Тулва – с. Барда				р. Косьва – д. Останино			
	B	h_{cp}	w	v_{cp}	B	h_{cp}	w	v_{cp}
15	49,5	0,88	44	0,34	(155)	(0,40)	(62)	0,21
50	50,0	1,40	70	0,73	161	(0,70)	(113)	0,44
100	50,5	1,64	83	1,10	163	1,60	261	0,62
200	55,0	2,44	134	1,55	169	1,72	291	0,82

Примечание: в скобках приведены величины, полученные с меньшей точностью.

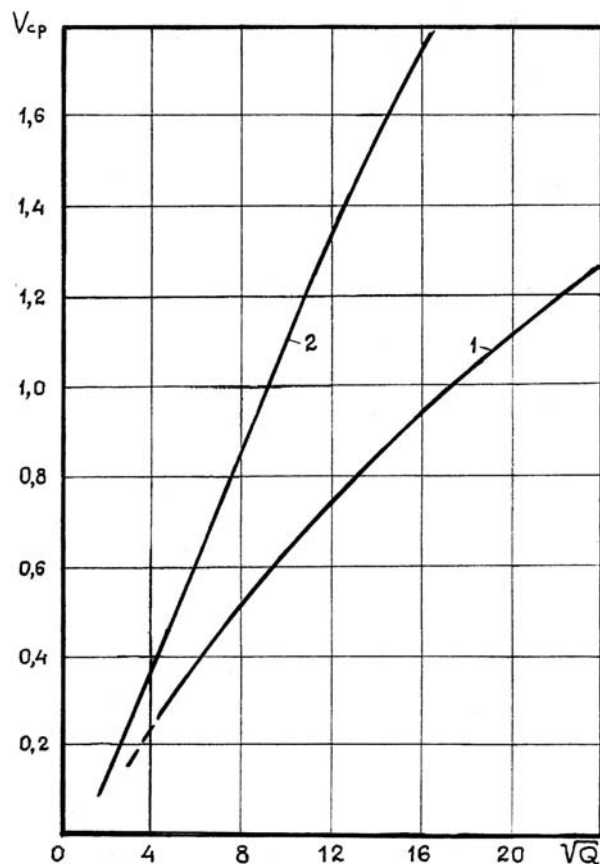


Рис. 3. Связи средних скоростей течения (v_{cp} , м/с) и расходов воды (\sqrt{Q} , m^3/c) в реках Тулва и Косьва по данным гидрометрических наблюдений в 1974 г.:

1 – р. Тулва – с. Барда; 2 – р. Косьва – д. Останино

Приведенные в табл. 2 данные, полученные путем интерполяции между наиболее близкими результатами измерения расходов воды, показывают, что при одинаковых значениях расходов воды ширина русла р. Тулвы втрое меньше ширины русла р. Косьвы и почти не изменяется с повышением уровня воды. Соответственно изменяются на этих реках значения средней глубины и, как следствие, средней скорости течения.

В заключение следует отметить, что анализ режима скоростей течения воды в реках требует большего внимания. И в процессе этого анализа будет, очевидно, полезно использовать связи между средней скоростью и расходом воды, несмотря на их взаимообусловленность.

Библиографический список

1. *Алексеев Г.А.* Расчеты паводочного стока рек СССР / Г.А. Алексеев. Л.: Гидрометеиздат, 1955.
2. *Барышников Н.Б.* Динамика русловых потоков и русловые процессы / Н.Б. Барышников, И.В. Попов. Л.: Гидрометеиздат, 1988.
3. *Гидрологический ежегодник.* 1960 г. Бассейн Каспийского моря. Т. 4, вып. 5-7. Л.: Гидрометеиздат, 1963.
4. *Гидрологический ежегодник.* 1974 г. Бассейн Каспийского моря. Т. 4, вып. 5-7. Свердловск: Уральское УГМС, 1976.
5. *Государственный водный кадастр.* Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1, вып. 25. Бассейн реки Камы. Л.: Гидрометеиздат, 1988.
6. *Огиевский А.В.* Гидрология суши / А.В. Огиевский. М.: Сельхозгиз, 1951.
7. *Протодяконов М.М.* Основные положения современной теории стока поверхностных вод / М.М. Протодяконов // Максимальный сток с малых бассейнов. М.: Трансжелдориздат, 1940.
8. *Ресурсы поверхностных вод СССР.* Основные гидрологические характеристики. Т. 11, вып. 1. Средний Урал и Приуралье. Л.: Гидрометеиздат, 1967.
9. *Ресурсы поверхностных вод СССР.* Т. 11. Средний Урал и Приуралье. Л.: Гидрометеиздат, 1973.
10. *Соколовский Д.Л.* Речной сток / Д.Л. Соколовский. Л.: Гидрометеиздат, 1959.
11. *Срибный М.Ф.* Аналитические основы расчета скорости максимальных паводков / М.Ф. Срибный // Проблемы паводков. М.: Изд-во АН СССР, 1959.