

ФОРМИРОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА ТЕРРИТОРИИ БИОСФЕРНОЙ СТАНЦИИ «ДЖУГА»

А. Д. Живогов

В пределах территории биосферной станции «Джуга» гидрологические наблюдения проводились с 1986 по 1995 годы (10 лет). В основном, они заключались в определении расходов рек Озерная и Челепсы на стационарных гидропостах, оборудованных на абсолютных отметках 1865 и 1780 м соответственно. Как правило, замеры выполнялись круглогодично с декадной периодичностью. В июле 1987 года проведены работы по расчленению стока рек Озерной и Челепсы. Единовременные замеры осуществлены по всему течению рек в 10–11 точках. Шаг замеров по перепаду высот – 100 м, интервал перепада – 1350–2400 м, практически от истоков до устьев рек.

Статистическая обработка полученных рядов наблюдений не проводилась. Поэтому, до настоящего времени нет надлежащей характеристики гидрологических особенностей стационара и оценки потенциальных водных ресурсов. Имеющийся ряд наблюдений не позволяет достоверно определить многолетнюю цикличность стока однако, некоторые модульные коэффициенты могут быть рассчитаны и распространены на более обширные территории (Чеботарев, 1962).

Биосферная станция «Джуга» расположена в междуречье Киши и Уруштена на площади порядка 150 км². Водораздел проходит по хребту Аспидный и осевой части массивов Джуга-Бамбаки в субмеридианальном направлении. Густота основной речной сети 0,67 км/км², с учетом многочисленных ручьев 1,38 км/км². Реки порожистые с валунами, бурливым пенным течением, изрытой поверхностью водного зеркала. На территории станции в р. Уруштен впадают 4 крупных притока, в р. Киша – 5. Притоки р. Уруштен имеют более развитые долины, меньшие уклоны русла, большие площади водосборных бассейнов, протяженность и расходы (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика рек б/ст. «Джуга»

№ п/п	Наименование	Длина, км	Площадь бассейна, км ²	Коэфф. извилист. русла	Средний уклон, %	Норма стока, л/с		Модуль стока, л/с.км ²	
						общий	в т.ч. подз.	общий	в т.ч. подз.
1.	Бассейн р.Уруштен		74,1			4047	846	54,6	11,4
1.1	р. Бамбачка	14,3	21,0	1,43	8,3	1340	307	63,8	14,6
1.2	р. Челепсы	10,1	19,4	1,26	12,4	1130	240	58,2	12,4
1.3.	р. Озерная	4,8	6,3	1,12	24,0	287	57,8	45,6	9,2
1.4.	р. Аспидная (лев. борт)	10,5	18,1	1,4	5,0	923	155	51,0	8,6

1.5.	др. малые реки (сум.)	14,6	9,3	1,1-1,4	10-28	367	86,7	39,5	9,3
2.	Бассейн р. Киша		71,6			3452	542	48,2	7,6
2.1.	р. Княжеская	5,4	11,0	1,2	23,1	628	111	57,1	10,1
2.2.	р. Мордовская	4,4	9,0	1,1	26,8	444	68,4	49,3	7,6
2.3.	р. М. Туровая	5,2	4,5	1,15	27,1	219	23,2	48,7	5,2
2.4.	р. Туровая	6,9	8,9	1,25	24,1	469	63,8	52,7	7,2
2.5.	р. Грустная	8,4	12,0	1,4	12,5	680	104	56,7	8,7
2.6.	др. малые реки (сум.)	15,4	26,2	1,1	10-33	1012	172	38,6	6,6
	Всего		145,7			7499	1388	51,5	9,5

Водность той или иной территории определяется нормой и модулем стока. Норму годового стока следует понимать как среднее его значение за многолетний период с неизменными ландшафтными географическими условиями. Под модулем стока понимается водный расход с единицы площади. Модуль стока является универсальным показателем потенциальных водных ресурсов речных бассейнов, их частей или определенных территорий (Евстигнеев, 1990).

Используя результаты статистической обработки многолетних данных стока рек Озерной и Челепсы, количества осадков и температуры воздуха производим расчленение гидрографа нормы годового стока в контрольных створах (табл. 2, 3).

Таблица 2. Расчленение гидрографа среднегодового стока р. Озерной (створ 1865 м)

Месяц	Поверхностный сток						Подземный сток			Общий сток			
	снеговой паводок			дождевой сток			л/с	л/с.км ²	%	л/с	тыс. м ³	мм	л/с.км ²
	л/с	л/с.км ²	%	л/с	л/с.км ²	%							
1	0	0	0	0	0	0	31,4	7,0	100	31,4	84,1	18,7	7,0
2	0	0	0	0	0	0	27,8	6,2	100	27,8	67,2	14,9	6,2
3	6,4	1,4	15,1	0	0	0	35,9	8,0	84,9	42,3	113	25,2	9,4
4	167	37,1	71,9	29,7	6,6	12,7	35,9	8,0	15,4	233	604	134	51,8
5	591	131	88,6	40,4	9,0	6,0	35,9	8,0	5,4	667	1786	397	148
6	391	86,5	82,4	47,3	10,5	10,0	35,9	8,0	7,6	474	1229	273	105
7	81,6	18,1	59,2	20,5	4,6	14,8	35,9	8,0	26,0	138	370	82,1	30,7
8	0	0	0	21,2	4,7	37,1	35,9	8,0	62,9	57,1	153	34,0	12,7
9	0	0	0	76,1	16,9	68,0	35,9	8,0	32,0	112	290	64,5	24,9
10	0	0	0	26,8	5,9	42,7	35,9	8,0	57,3	62,7	168	37,3	13,9
11	0	0	0	32,3	7,2	47,4	35,9	8,0	52,6	68,2	177	39,3	15,2
12	0	0	0	0	0	0	48,6	10,8	100	48,6	130	28,6	10,8
Год	104	23,0	63,2	24,5	5,4	14,9	35,9	8,0	21,9	164	5171	1149	36,4

Для р. Озерной среднегодовое значение стока составляет 164 л/с при модуле 36,4 л/с. км². Минимальные значения (28–49 л/с) наблюдались в декабре–марте месяцев. В этот период сток реки практически полностью формируется за счет подземного питания. Максимальные значения стока прихо-

дятся на май–июнь, с долей снегового паводка 82–89%. Дождевой сток преобладает в сентябре–ноябре месяцах с относительным вкладом 43–68%. В годовом разрезе расход реки формируют снеговой паводок (63,2%), подземное питание (21,9%), дождевой сток (14,9%). Среднегодовой объем годового расхода р. Озерной составляет 5171 тыс. м³, при слое стока 1149 мм (табл. 2).

Река Челепсы имеет большую площадь водосборного бассейна, что обуславливает уменьшение доли снегового паводка до 56,2% и увеличение дождевой составляющей до 21,6%; вклад подземного стока практически стабилен (22,2%). Вид гидрографа близок к предыдущему при значительном увеличении абсолютных значений расходов. Норма годового стока 625 л/с, модуль – 55,8 л/с. км²; объем годового расхода 19768 тыс. м³ при слое 1765 мм. Амплитуда среднемесячного стока реки колеблется в больших пределах: от 121 л/с в феврале до 2009 л/с в июне (табл. 3).

Таблица 3. Расчленение гидрографа среднегодового стока р. Челепсы (створ 1780 м)

Месяц	Поверхностный сток						Подземный сток			Общий сток			
	снеговой паводок			дождевой сток									
	л/с	л/с.км ²	%	л/с	л/с.км ²	%							
1	0	0	0	0	0	0	132	11,8	100	132	354	31,6	11,8
2	0	0	0	0	0	0	121	10,8	100	121	293	26,1	10,8
3	48,0	4,3	25,7	0	0	0	139	12,4	74,3	187	501	44,7	16,7
4	403	36,0	56,7	169	15,1	23,8	139	12,4	19,5	711	1843	164	63,5
5	1325	118	78,8	219	19,6	13,0	139	12,4	8,2	1683	4508	402	150
6	1618	144	80,6	252	22,5	12,5	139	12,4	6,9	2009	5207	465	179
7	825	73,7	75,6	126	11,2	11,6	139	12,4	12,8	1090	2919	261	97,3
8	0	0	0	244	21,8	63,7	139	12,4	36,3	383	1026	91,6	34,2
9	0	0	0	361	32,2	72,2	139	12,4	27,8	500	1296	116	44,6
10	0	0	0	95,0	8,5	40,6	139	12,4	59,4	234	627	56,0	20,9
11	0	0	0	151	13,5	52,1	139	12,4	47,9	290	752	67,1	25,9
12	0	0	0	0	0	0	165	14,7	100	165	442	39,5	14,7
Год	351	31,4	56,2	135	12,0	21,6	139	12,4	22,2	625	19768	1765	55,8

Значительная расчлененность рельефа и большие перепады высот в пределах бассейнов рек вызывают объективные трудности пространственного распределения результатов наблюдений. Посредством методов районирования предпринята попытка учесть общность природных условий и установить присущие различным территориям зависимости стока от определяющих его факторов (Виноградов, 1988). С этой целью для малых (Озерная) и средних (Челепсы) рек по данным натурных измерений определена зависимость расхода от площади водосборного бассейна (табл. 4).

Таблица 4

Уравнение связи	r	dx	dy	dy/x	C _x	C _y	Er	r ± Er
р. Озерная y = 58,5x + 53 (1)	0,89	2,38	156	71	0,68	0,6	0,05	0,84–0,94
р. Челепсы y + 160x + 298 (2)	0,92	6,96	1214	476	0,74	0,67	0,03	0,89–0,95

Где: y – расход реки, л/с;

x – площадь водосборного бассейна, км²;

r – коэффициент корреляции;

δ_x – среднеквадратичное отклонение ряда площадей;

δ_y – среднеквадратичное отклонение ряда расходов;

$\delta_{y/x}$ – стандартная ошибка уравнения регрессии;

C_x, C_y – коэффициенты вариации рядов;

Er – вероятная ошибка коэффициента корреляции;

r ± Er – вероятное значение коэффициента корреляции;

По величине предельного значения коэффициента корреляции ($r \pm 4Er$) связь между расходом и площадью питания считается доказанной и удовлетворительной. По критериям Стьюдента-Фишера полученные величины коэффициентов корреляции значимы при доверительной вероятности 0,95 и 0,99, что свидетельствует о высокой достоверности их оценки (Рождественский, 1974; Исаев, 1988).

Связь нормы стока с площадью питания определена с помощью поправочных коэффициентов. Уравнения регрессии имеют вид:

для р. Озерной $y = 36,6x + 33$; (3)

для р. Челепсы $y = 55,2x + 103$. (4)

На топографической карте масштаба 1: 50 000 выделены водосборные бассейны всех рек б/ст. «Джуга». Исходя из площади бассейнов, определены нормы и модули стока для каждой реки. С целью дифференцирования модуля стока по высоте, установлена его зависимость от абсолютных отметок местности по натурным измерениям на реках Озерная и Челепсы (табл. 5).

Таблица 5

Уравнение связи	r	dx	dy	dy/x	C _x	C _y	Er	r ± Er
р. Озерная y = 88,4x – 68,1 (5)	0,76	0,31	35,7	23,1	0,16	0,39	0,09	0,67–0,85
р. Челепсы y = 117,3x – 5,9 (6)	0,61	0,37	71,1	56,3	0,20	0,33	0,13	0,48–0,74

Где: y – модуль стока, л/с. км²;

x – высота над уровнем моря, км;

δ_x – среднеквадратичное отклонение ряда высот;

δ_y – среднеквадратичное отклонение ряда модулей стока.

Остальные обозначения прежние.

По величине предельного значения коэффициента корреляции связь между модулем стока и высотой местности удовлетворительная. Согласно критериям Стьюдента-Фишера величины коэффициентов корреляции значимы при доверительной вероятности 0,95.

Формирование стока обуславливается параметрами речного бассейна, в первую очередь, его площадью. Для рассматриваемых небольших горных рек критерием отнесения их к малым принята водосборная площадь до 15 км² и длина менее 10 км (табл. 1). Сравнительный статистический анализ эмпирических и расчетных рядов позволяет оценить характер изменений нормативных значений модулей общего и подземного стоков по падению малых и средних рек (табл. 6).

Таблица 6

Критерий реки	Уравнения связи	
	для норм. модуля общего стока	для норм. модуля подз. стока
малая	$y = 35,4x - 27,2$ (7)	$y = 7,8x - 6$ (9)
средняя	$y = 30,2x - 1,5$ (8)	$y = 10,2x - 0,5$ (10)

Где: y – нормативный модуль стока, л/с. км²;

x – высота над уровнем моря, км.

Расходы рек не имеют строгой функциональной связи с площадью питания и высотой местности. Наибольшие отклонения наблюдаются в нижнем течении и верховьях потоков. При этом, формирование поверхностной и подземной составляющих взаимосвязано, но в некоторых случаях имеет противоположные тенденции.

Таблица 7. Расчет среднееголетнего общего стока по площади б/ст. «Джуга»

№п/п	Бассейн	Распределение по модулям общего стока										Средневзвешенные значения				
		0-20 (10)		20-40 (30)		40-60 (50)		60-80 (70)		80-100 (90)		км ²	л/с	тыс.м ³ /год	мм/год	л/с.км ²
		км ²	л/с	км ²	л/с	км ²	л/с	км ²	л/с	км ²	л/с					
1.	р. Уруштен	0,4	4	12,0	360	33,6	1680	26,3	1841	1,8	162	74,1	4047	127627	1722	54,6
1.1.	р. Бамбачка	0,2	2	1,2	36	3,5	175	16,1	1127	-	-	21,0	1340	42258	2012	63,8
1.2.	р. Челецсы	-	-	1,8	54	9,6	480	6,2	434	1,8	162	19,4	1130	35636	1837	58,2
1.3.	р. Озерная	0,2	2	1,8	54	3,5	175	0,8	56	-	-	6,3	287	9051	1437	45,6
1.4.	р. Аспидная	-	-	2,3	69	12,6	630	3,2	224	-	-	18,1	923	29108	1608	51,0
1.5.	др. малые реки	-	-	4,9	147	4,4	220	-	-	-	-	9,3	367	11574	1244	39,5
2.	р. Киша	5,1	51	19,8	594	25,6	1280	18,6	1302	2,5	225	71,6	3452	108862	1520	48,2

2.1.	р. Княжеская	-	-	1,2	36	4,7	235	5,1	357	-	-	11,0	628	19805	1800	57,1
2.2.	р. Мордовская	0,3	3	2,5	75	4,0	200	1,6	112	0,6	54	9,0	444	14002	1556	49,3
2.3.	р. М. Туровая	0,3	3	1,2	36	2,0	100	0,5	35	0,5	45	4,5	219	6906	1535	48,7
2.4.	р. Туровая	0,5	5	2,6	78	2,4	120	2,0	140	1,4	126	8,9	469	14790	1662	52,7
2.5.	р. Грустная	0,2	2	2,5	75	2,4	120	6,9	483	-	-	12,0	680	21444	1787	56,7
2.6.	др. малые реки	3,8	38	9,8	294	10,1	505	2,5	175	-	-	26,2	1012	31914	1218	38,6
	Всего:	5,5	55	31,8	954	59,2	2960	44,9	3143	4,3	387	145,7	7499	236489	1623	51,5

В истоках рек и выше, примерно с отметок 2400–2600 м, местность характеризуется большой крутизной склонов, отсутствием или незначительной мощностью почвенного покрова и слабой задернованностью. В периоды интенсивного снеготаяния и обильных дождей здесь существенно преобладает поверхностный сток, модули которого достигают 60–90 л/с. км². В среднем течении интенсивность поверхностного питания уменьшается до 30–50 л/с. км². По мере выполаживания профилей рек и накопления высокопроницаемого подруслового материала часть поверхностного стока переходит в подземный сток. При этом поверхностная составляющая может терять до 25% своего расхода или 5–10 л/с. км².

На формирование подземного стока влияет большее количество факторов и поэтому оно не так однозначно. Выше отметок 2450–2500 м подземное питание минимальное и его модуль не превышает 5 л/с.км². С уменьшением высоты местности интенсивность стока возрастает, достигая максимальных значений на отметках 2200–2300 м. В более развитых бассейнах средних рек нормативный модуль подземного стока на этих высотах составляет 20–25 л/с.км², в то время как в бассейнах малых рек не превышает 15 л/с.км². При дальнейшем понижении рельефа интенсивность подземной составляющей падает и аппроксимируется уравнениями (9, 10). В устьях крупных потоков наблюдается местное увеличение подземного расхода. Средняя величина нормативного модуля подземного стока для территории б/ст. «Джуга» составляет 9,5 л/с.км², что соответствует расходу 1388 л/с или 300 мм слоя воды в год. Бассейн р. Уруштен имеет лучшие условия для формирования подземных вод. Интенсивность подземного стока здесь составляет 11,4 л/с.км² против 7,6 л/с.км² для бассейна р. Киша (табл. 8).

Нормативный модуль суммарного (общего) стока подчиняется уравнениям связи (7, 8) по всему интервалу высот. Максимальные его значения приурочены к главным водораздельным линиям с абсолютными отметками более 2000–2200 м. В пределах высокогорных территорий величины модуля превышают 60 л/с.км². Занимая 34% площади биостанции они дают 47% общего стока. В среднем течении рек, в интервале высот 1600–2000 м, модуль стока составляет 40–60 л/с.км². Водосборная площадь с такими показателями занимает 41% территории с расходом порядка 40% от суммарного. По мере приближения к рекам Уруштен и Киша их долины приобретают доминирующее влияние на характер расчлененности рельефа и на-

правленности стока. Интенсивность последнего уменьшается в связи с рассредоточением и частичным переходом в подземный, истинная величина которого трудноопределима. Территории с модулем стока до 40 л/с.км² (в среднем 20) обрамляют долины крупных рек, занимая около 26% площади с расходом 13% от суммарного.

Таблица 8. Расчет среднемноголетнего подземного стока по площади б/ст. «Джуга»

№п/п	Бассейн	Распределение по модулям подземного стока										Средневзвешенные значения				
		0-5 (2,5)		5-10 (7,5)		10-15(12,5)		15-20(17,5)		20-25(22,5)		км ²	л/с	тыс.м ³ /год	мм/год	л/с.км ²
		км ²	л/с	км ²	л/с	км ²	л/с	км ²	л/с	км ²	л/с					
1.	р. Уруштен	5,6	14,0	27,9	209	22,7	284	12,6	220	5,3	119	74,1	846	26696	360	11,4
1.1.	р. Бамбачка	0,9	2,25	3,2	24,0	6,2	77,5	7,6	133	3,1	69,8	21,0	307	9682	461	14,6
1.2.	р. Челепсы	2,8	7,0	3,8	28,5	6,0	75,0	4,6	80,5	2,2	49,5	19,4	240	7569	390	12,4
1.3.	р. Озерная	0,3	0,75	3,6	27,0	2,4	30,0	-	-	-	-	6,3	57,8	1823	289	9,2
1.4.	р. Аспидная	1,6	4,0	11,0	82,5	5,5	68,8	-	-	-	-	18,1	155	4888	270	8,6
1.5.	др. малые реки	-	-	6,3	47,2	2,6	32,5	0,4	7,0	-	-	9,3	86,7	2734	294	9,3
2.	р. Киша	18,6	46,5	33,3	250	19,7	246	-	-	-	-	71,6	542	17105	239	7,6
2.1.	р. Кияжеская	0,7	1,75	3,8	28,5	6,5	81,2	-	-	-	-	11,0	111	3500	318	10,1
2.2.	р. Мордовская	1,9	4,75	5,0	37,5	2,1	26,2	-	-	-	-	9,0	68,4	2157	240	7,6
2.3.	р. М. Туровая	2,7	6,75	1,2	9,0	0,6	7,5	-	-	-	-	4,5	23,2	732	163	5,2
2.4.	р. Туровая	2,7	6,75	4,1	30,8	2,1	26,2	-	-	-	-	8,9	63,8	2012	226	7,2
2.5.	р. Грустная	1,1	2,75	7,0	52,5	3,9	48,8	-	-	-	-	12,0	104	3280	273	8,7
2.6.	др. малые реки	9,5	23,8	12,2	91,5	4,5	56,2	-	-	-	-	26,2	172	5424	207	6,6
	Всего:	24,2	60,5	61,2	459	42,4	530	12,6	220	5,3	119	145,7	1388	43772	300	9,5

Среднемноголетний общий сток с территории б/ст. «Джуга» составляет 7,5 тыс. л/с. Годовой объем воды достигает 236,5 млн. м³ при средневзвешенном по площади слое 1620 мм. Интенсивность стока в бассейнах рек Уруштен и Киша равна 54,6 и 48,2 л/с. км² соответственно (табл. 7). Кратковременность проведенных наблюдений не позволяет в надлежащем объеме оценить все факторы формирования водного стока в охраняемых горных районах Западного Кавказа.

Литература

- Виноградов Ю. Б. 1988. Математическое моделирование процессов формирования стока. Л.: Гидрометеиздат. 312 с.
- Евстигнеев В. М. 1990. Речной сток и гидрологические расчеты. М.: МГУ. 304 с.
- Исаев А. А. 1988. Статистика в метеорологии и климатологии. М.: МГУ. 248 с.
- Лукнер Л. 1976. Численное моделирование взаимодействия поверхностных и подземных вод // Фильтрация воды в пористых средах. Киев. С. 142-149.

Минкин Е. Л. 1973. Взаимосвязь подземных и поверхностных вод и ее значение при решении некоторых гидрогеологических и водохозяйственных задач. М.: Стройиздат. 292 с.

Рождественский А. В. , Чеботарев А. Н. 1974. Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат. 424 с.

Чеботарев Н. П. 1962. Учение о стоке. М.: МГУ. 405 с.

Штенгелов Р. С. 1988. Формирование и оценка эксплуатационных запасов пресных подземных вод. М.: Недра. 231 с.