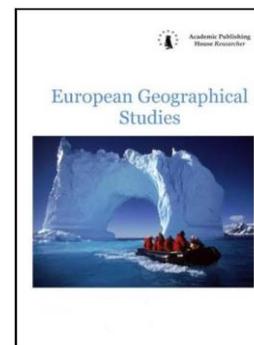


Copyright © 2020 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
European Geographical Studies
Has been issued since 2014.
E-ISSN: 2413-7197
2020, 7(1): 8-30

DOI: 10.13187/egs.2020.1.8
www.ejournal9.com



Water Balance of Small River Basins in the Sochi Black Sea Coast

Nikolai A. Bityukov ^{a,*}

^a Sochi national park, Sochi, Russian Federation

Abstract

The article is devoted to the analysis of the hydrological regime of small rivers of the Black sea coast of the Caucasus, located in the mid-mountain and low-mountain zones. Based on the GIS-technologies, maps of the distribution of high-altitude zones of these rivers' basins with hypsographic curves have been developed. For the mid-mountain zone of the Sochi Black sea region, the analysis of the hydrological regime of the Psii river basin with a catchment area of 20.4 km² and an average height of 664 m above sea level (a tributary of the Shakhe river) is given. To characterize the low-mountain hydrology, we consider the Kuapse river catchment area with an area of 14.6 km² and an average height of 322 m, which flows into the Black sea. It was found that the input part of the water balance of these rivers in the form of precipitation measured at weather stations in the estuaries of rivers is understated due to the high-altitude zoning of catchments. To account the influence of this factor, the correction coefficients were calculated equal to an increase in precipitation by 4.5 % for every 100 m of elevation in the mid-mountain zone, and by 17.3 % per 100 m of elevation in the low – mountain zone.

As a result of calculations for the mid-mountain zone, it was found that for r. Psii the main part of the balance is occupied by shallow-water ground nutrition – in total, it reaches 66 % with slope runoff. The total evaporation here is about 1/3 of the balance.

For the low-mountain zone, the annual water balance of the Kuapse river basin is as follows: in mm of layer 3520 = 1539 + 1981 or in % 00=44.0 + 56.0. Here precipitation is spent on 44 % on runoff, and 56 % is spent on total evaporation. During the cold period, more than half of the precipitation goes to runoff, and only 45 % – to total evaporation. During the warm period, out of 1644 mm of precipitation, 533 mm (31.0 %) is spent on runoff, and the remaining 1111 mm (69.0 %) is total evaporation.

Keywords: the Sochi Black sea coast, geomorphology of Caucasus, a river network, pools of the rivers, norms of deposits, hydrological mode of the rivers.

1. Введение

Анализ речной сети Сочинского Причерноморья показал, что в соответствии с геоморфологическими условиями региона впадающие в Черное море реки можно разделить на три уровня. Первый уровень представлен основными реками, формирующимися в высокогорной территории Сочинского Причерноморья; второй уровень рек, представлен водотоками, имеющими начало в среднегорной зоне; и третий уровень – это малые реки, сформированные в низкогорье. При этом большое значение для гидрологического режима

* Corresponding author

E-mail addresses: nikbit@mail.ru (N.A. Bityukov)

рек имеют размеры площади водосбора. Изучение влияния горных лесов на формирование стока рек показывает, что этот фактор поддается анализу именно для малых водосборов ввиду однородности физико-географических условий для них (Битюков, 2018; Битюков, Ткаченко, 2017).

Для характеристики водорегулирующей роли горных лесов Сочинского Причерноморья привлечены материалы многолетних наблюдений на постах Росгидромета. (Государственный водный кадастр, 1988, 2004; Ресурсы поверхностных вод СССР, 1973, 1975).

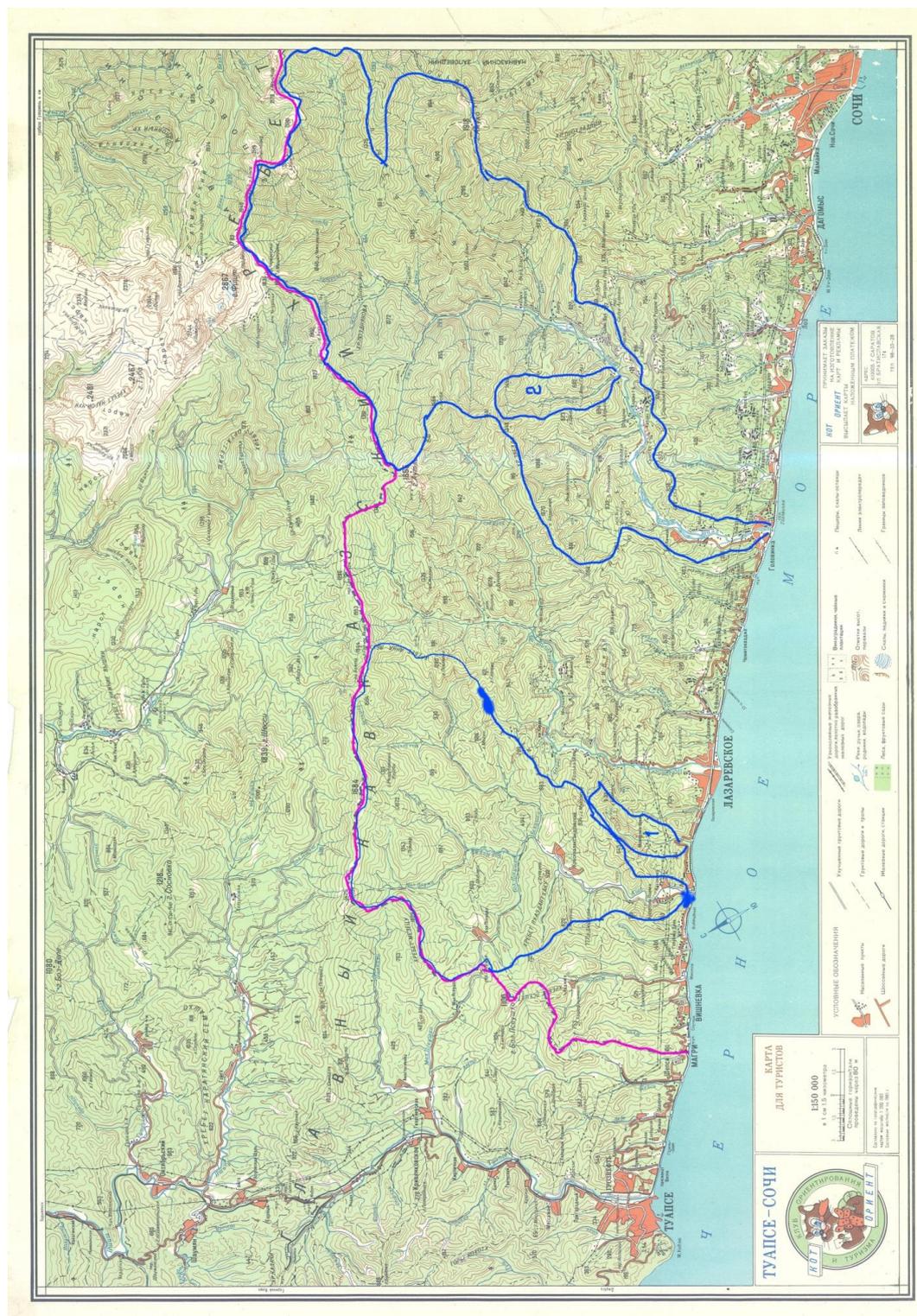


Рис. 1. Схема расположения малых водосборов (1 – бассейн реки Куапсе; 2 – бассейн реки Псий). Красная линия – границы Сочинского национального парка

Водный баланс бассейнов рек этой территории характеризуется резко ограниченным контуром, внутри которого происходит почти весь процесс круговорота влаги. Осадки, выпадающие в бассейнах рек в виде дождя и снега, частично расходуются на испарение и транспирацию, остальная их часть в виде поверхностных и подземных вод возвращается в море. При подборе бассейна, репрезентующего средние условия Сочинского Причерноморья использовались следующие условия:

- а) наиболее близкое к центру подрайона расположение бассейна;
- б) наименьшая величина площади бассейна (из рек, имеющих гидрологические наблюдения), что облегчает точность расчёта элементов баланса;
- в) наличие длительного ряда наблюдений за стоком и осадками;
- г) наименьшее хозяйственное воздействие на площадь с лесными насаждениями.

Далее приведен анализ гидрологического режима двух малых рек, представляющих среднегорную зону – бассейн реки Псий с площадью водосбора 20,4 км² (притока реки Шахе) и низкогорную зону – бассейн реки Куапсе с площадью 14,6 км² ([Рисунок 1](#)).

2. Материалы и методы

Водный баланс бассейна р. Псий.

Для среднегорной зоны буково-каштановых лесов репрезентативным является бассейн р. Псий – правобережного притока р. Шахе (площадь водосбора – 20,4 км², длина реки – 9,8 км). Бассейн р. Псий характеризуется очень четким ограничением в пространстве (при юго-западной ориентации). Водораздельная линия бассейна проходит по хребтам с высотами до 695 м, а в верхней части – до 1356 м над ур.м. и выше. Средняя высота бассейна – 664 м над ур. моря. В верхней части бассейна преобладают склоны крутизной более 30° (занимают 35 % площади бассейна), в средней и нижней частях – склоны 20-30° (около 40 %), 11-20° (около 20 %) и до 10° (не более 5 %) ([Рисунок 2](#)).

Верхняя треть бассейна занята разновозрастными буковыми насаждениями II-го класса бонитета, средняя – преимущественно спелыми каштановыми древостоями II-го класса бонитета, а нижняя – дубравами (бонитет II) и частично буковыми насаждениями (бонитет III).

Общая площадь букняков – 44,5 %, дубрав – 26,4 %, каштанников – 25,5 %. Насаждения характеризуются высокими полнотами и слабо затронуты хозяйственной деятельностью. В некоторых наиболее пологих участках бассейна на месте вырубленных древостоев созданы плантации орехоплодных и сады (общая их площадь около 3,6 %).

Наблюдения за осадками и стоком в бассейне р. Псий велись с 1945 по 1988 гг. Наблюденные величины осадков были исправлены на ветровой недоучёт осадков и смачивание. Суммарный поправочный коэффициент в течение года изменялся в пределах от 1,04 до 1,08 (Справочник по климату СССР, вып. 13, ч. IV). Поскольку высота установки осадкомера равна 188 м, а высоты склонов водосбора изменяются от 150 до 1400 м, существенное значение приобретает расчёт среднего для бассейна слоя выпадающих осадков ([Битюков, 2007, 2018](#)).

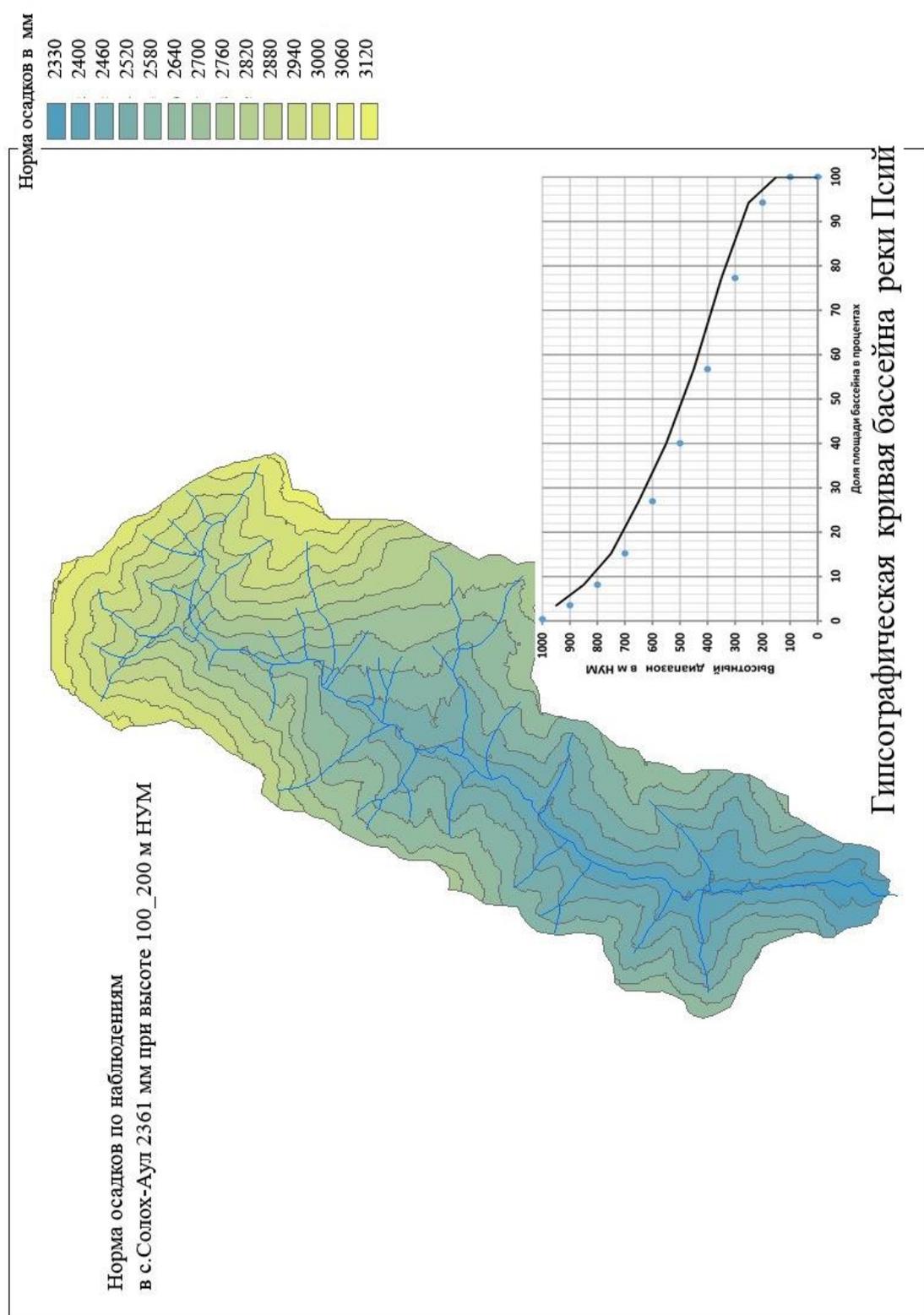


Рис. 2. Цифровая модель рельефа бассейна реки Псий с гипсографической кривой водосбора

На [Рисунке 2](#) приведена цифровая модель рельефа бассейна реки Псий. Плувиометрический градиент был определен по метеостанциям Красная Поляна (566 м) и Ачишхо (1880 м), которые также, как и бассейн р.Псий, находятся за передовыми от моря хребтами. Он составил увеличение 4,4 % от осадков на нижележащей станции на 100 м

подъема. С учётом гипсографической кривой был определен поправочный коэффициент на высоту бассейна $K_{oc} = 1,188$.

Таким образом, для дальнейших расчетов годовых и сезонных сумм осадков в бассейнах реки Псий приняты величины плювиометрических градиентов (повышение осадков с высотой), полученных непосредственными наблюдениями (Битюков, 1990, 2013, 2018):

- для холодного периода (с 1.XI по 30 марта гидрологического года) равен 5,3-4,9 % на каждые 199 м подъема, а в среднем 5,0 % на каждый 100 м подъема;

- для теплого периода (с 1 апреля по 30 октября) плювиометрический градиент равен 3,6-4,2 % на каждые 100 м подъема, а в среднем 4,1 % на 100 м. Следует отметить, что величина плювиометрического градиента в некоторой степени зависит от интенсивности ливня. Так, для исключительно интенсивного ливня в июле 1956 г. по данным МС Красная Поляна и МС Ачишхо плювиометрический коэффициент получен равным 9,7 % на 100 м.

Для расчета среднего слоя осадков, выпавших на горный водосбор, необходимо ввести поправку к наблюдениям в нижней части бассейна, учитывающую плювиометрический градиент. Поправочный коэффициент K_x , учитывающий увеличение осадков с высотой местности, для небольшого речного бассейна можно рассчитать по формуле (Битюков, Ткаченко, 2017; Коваль, Битюков, 2001):

$$K_x = \frac{K_{1x}f_1 + K_{2x}f_2 + \dots + K_{nx}f_n}{F} \quad (1)$$

где: $K_{1x}, K_{2x} \dots K_{nx}$ – осадки на уровне горизонтали 50 м, 150 м, 250 м и т.д., в долях от осадков исходной нижележащей станции; $f_1, f_2, \dots f_n$ – площади бассейна, заключенные между горизонталями, кратными 100 м; F – площадь бассейна.

3. Обсуждение

На [Рисунке 3](#) приведен график средних для бассейна величин осадков и стока по сезонам за многолетний период наблюдений. Гидрологическим годом при этом условлено считать период с 1/XI до 31/X. Средняя дата появления снежного покрова 20/X-8/XII (в пределах высоты бассейна), образование устойчивого покрова – около 24/XII, схода снежного покрова – около 5/IV. Поэтому за холодный сезон принят период XI-III, а теплый – IV-X.

Как показывают наблюдения ([Рисунок 3](#)), осадки холодного периода обычно превышают осадки теплого сезона (в 1,5-2,5 раза), и водность года определяется в основном водностью холодного периода. Колебания как годовых, так и сезонных сумм осадков очень велики. Так, минимум годовых осадков отмечен в 1957 г – 2156 мм; за теплый период – также в этом году – 478 мм, за холодный период – 1241 мм (1951 г).

Максимумы осадков наблюдались: за год – 3861 мм (1958 г), за холодный сезон – 2565 (1958 г), за теплый сезон – 1540 мм (1956 г). Если осадки колеблются в многолетнем разрезе не более чем в 2 раза, то колебания стока гораздо больше: годовой – в 2,2 раза (максимум 2485 мм в 1963, минимум 1128 мм в 1955 г), зимний – в 2,7 раза (максимум 1966 мм в 1963 г, минимум 738 мм в 1951 г), а летний – в 7,7 раза (1097 мм в 1956 г и 143 мм в 1957 г).

Отсюда ясно, что водный баланс даже в пределах одного и того же небольшого бассейна может изменяться во времени весьма значительно из-за колебания его приходной части ([Таблица 1](#))

Расчёт суммарного испарения как разницы между осадками и стоком, разумеется, имеет приближенный характер даже при условии полного дренирования руслом реки глубоких грунтовых вод.

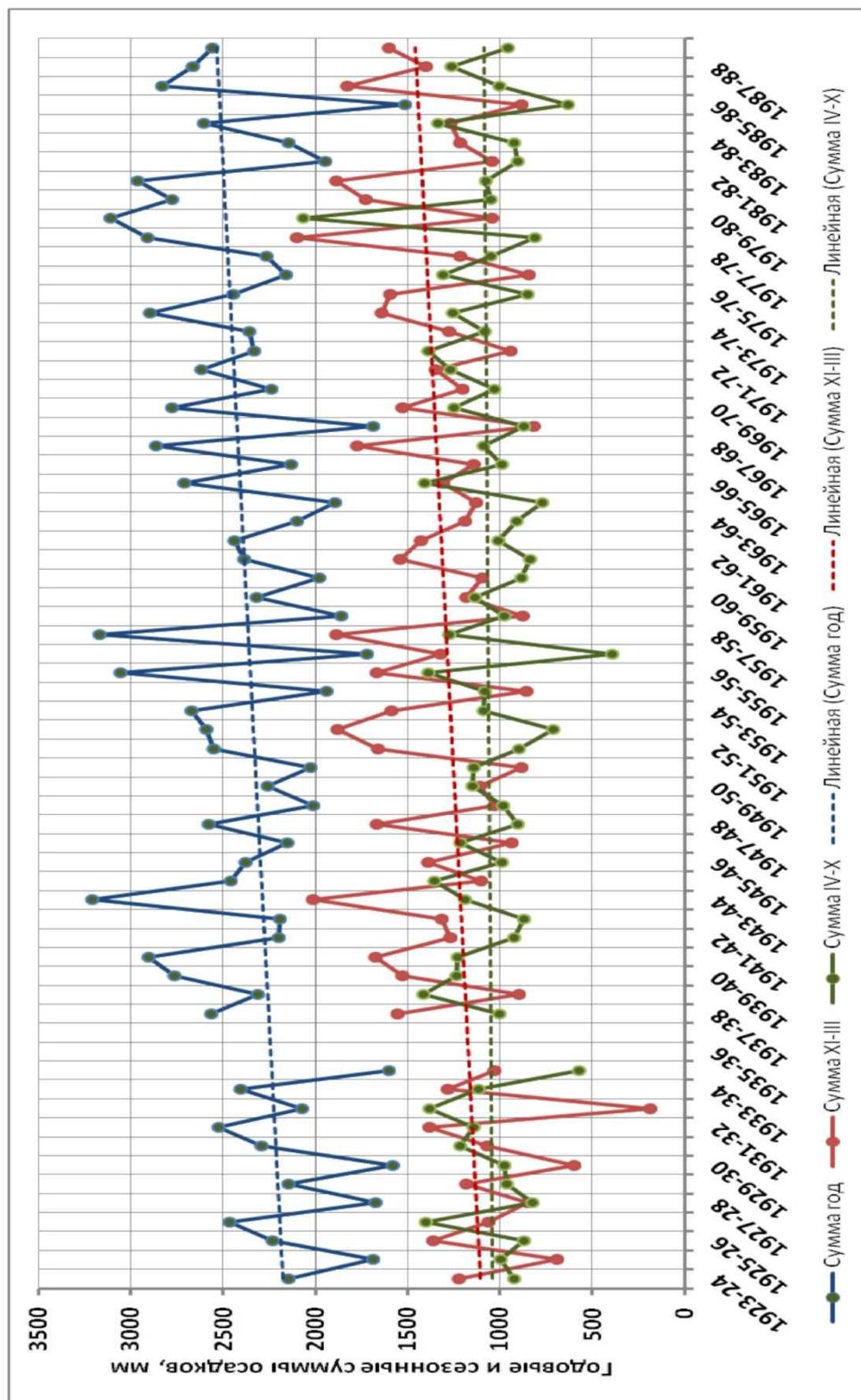


Рис. 3. Хронологический график годовых и сезонных сумм осадков на МС Солох-Аул за весь период наблюдений (1923–1988 гидрологические годы)

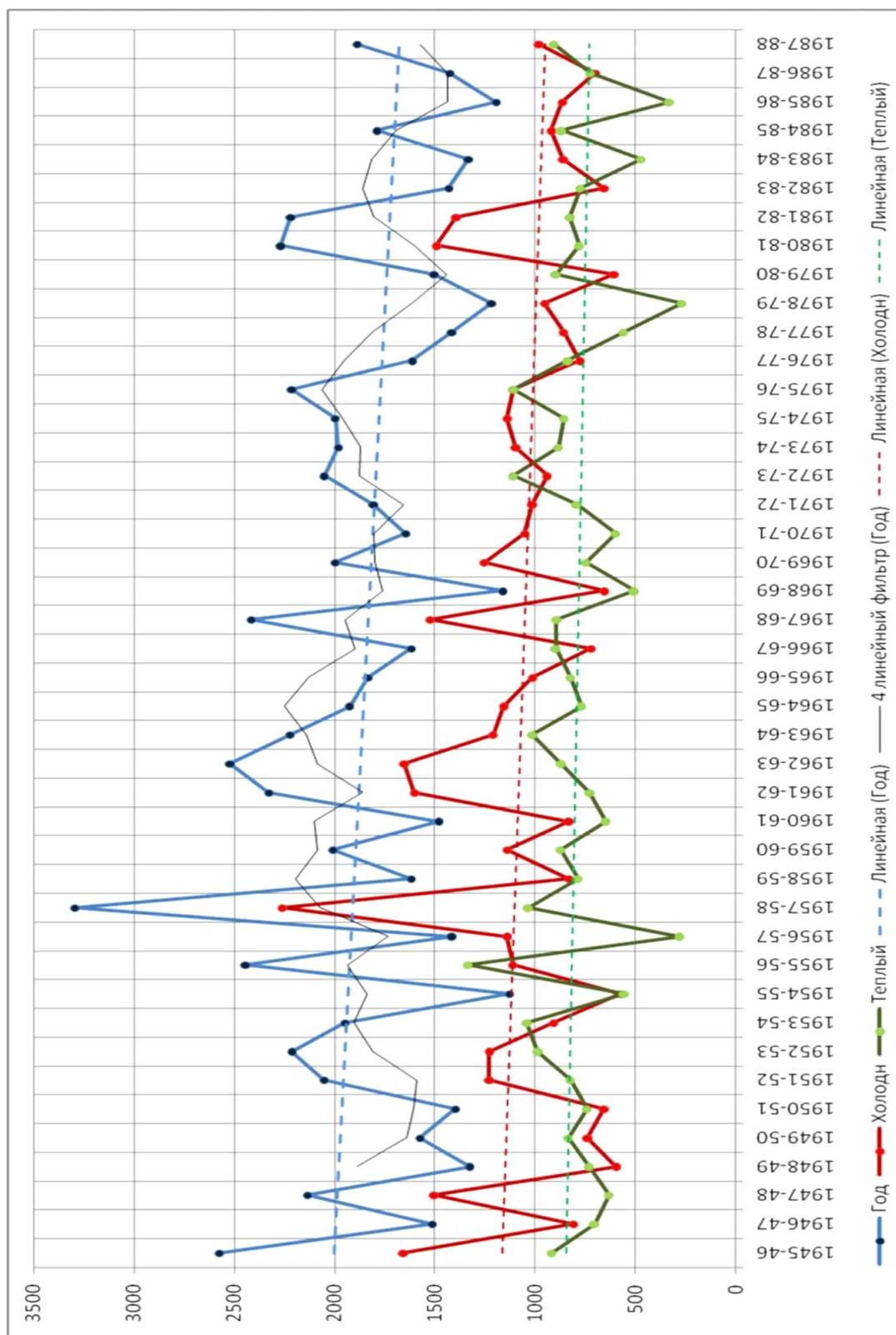


Рис. 4. Хронологический график сезонных и годовых сумм стока р Псий у с. Тух-Аул (в мм слоя)

Таблица 1. Водный баланс бассейна р. Псий (площадь 20,4 км², средняя высота 664 м над ур. моря) за период 1946–1968 гидр. годы

Гидрологические годы	Осадки, мм			Сток, мм			Суммарное испарение, мм		
	Холодный период (XI-1У)	Теплый период (У-Х)	Гидрологический год	Холодный период (XI-1У)	Теплый период (У-Х)	Гидрологический год	Холодный период (XI-1У)	Теплый период (У-Х)	Гидрологический год
1946-47		1342		945	569	1514		773	
1947-48	2170	1072	3242	1750	391	2141	420	681	1101
1948-49	1516	1262	2778	884	439	1323	632	823	1455
1949-50	1446	1388	2834^	1024	548	1572	422	640	1262
1950-51	1241	1305	2546	738	659	1397	503	646	1149
1951-52	2250	965	3215	1542	510	2052	708	455	1164
1952-53	2508	762	3270	1656	557	2213	852	205	1057
1953-54	2100	1250	3350	1154	786	1940	946	464	1410
1954-55	1500	941	2441	866	262	1128	634	679	1313
1955-56	2300	1540	3840	1347	1097	2444	953	443	1396
1956-57	1678	478	2156	1272	143	1415	406	335	741
1957-58	2565	1296	3861	1704	722	2426	861	574	1435
1958-59	1390	947	2337	1120	496	1616	270	451	721
1959-60	1670	1250	2920	1324	684	2008	346	566	912
1960-61	1500	994	2494	1025	463	1488	475	531	1006
1961-62	2210	910	3120	1904	426	2330	306	484	790
1962-63	2490	1010	3500	1966	519	2485	524	491	1015
1963-64	1600	1035	2635	1444	778	2222	156	257	413
1964-65	1715	666	2381	1460	465	1925	255	201	456
1965-66	1960	1508	3468	1244	588	1832	716	920	1636
1966-67	1623	1057	2682	946	672	1618	679	385	1064
1967-68	2340	1250	3590	1819	599	2418	521	651	1172
Средние	1894	1090	2984	1322	564	1886	351	529	1080

Таблица 2. Расчленение гидрографов стока р. Псий по видам питания в осенний, зимне-весенний и летний периоды года

Гидрологические годы	Грунтовый сток, мм				Склоновый сток, мм				Коэффициенты склонового стока			
	XI-XII	I-V	VI-X	Сумма за год	XI-XII	I-V	VI-X	Сумма за год	XI-XII	I-V	VI-X	Средн. годовой
1946-47	118	528	252	898	82	255	279	616	-	0,24	0,22	-
1947-48	298	732	161	1192	348	494	279	949	0,41	0,37	0,10	0,29
1948-49	109	564	181	854	48	354	107	468	0,12	0,23	0,08	0,17

1949-50	68	628	233	929	30	379	66	642	0,10	0,29	0,18	0,23
1950-51	114	393	252	759	115	386	233	638	0,26	0,31	0,16	0,25
1951-52	162	807	183	1152	237	524	137	900	0,30	0,31	0,18	0,28
1952-53	129	1001	203	1333	159	664	139	880	0,26	0,33	0,09	0,27
1953-54	84	731	277	1112	80	593	57	827	0,13	0,34	0,29	0,25
1954-55	54	502	123	679	43	367	154	449	0,13	0,30	0,04	0,18
1955-56	163	741	235	1139	240	441	39	1304	0,27	0,26	0,48	0,34
1956-57	249	582	71	902	263	244	623	513	0,37	0,23	0,01	0,24
1957-58	147	896	375	1418	325	511	6	1008	0,36	0,29	0,14	0,26
1958-59	173	696	231	1100	114	270	172	516	0,30	0,24	0,15	0,22
1959-60	201	635	285	1121	207	416	132	887	0,33	0,34	0,24	0,30
1960-61	143	573	220	936	129	276	264	551	0,22	0,26	0,17	0,22
1961-62	268	923	177	1368	327	516	146	962	0,36	0,36	0,15	0,31
1962-63	118	1069	256	1443	191	746	119	1042	0,28	0,40	0,11	0,30
Среднее	139	708	218	1079	173	438	103	774	0,26	0,30	0,16	0,26

Поскольку кривая истощения запасов воды в бассейне по оси времени имеет длительность 4-5 и более месяцев, ясно, что бассейновое регулирование стока по времени превышает пределы сезонов. За счёт этого суммарное испарение теплого периода занижено, а холодного периода – завышено (в мае стекают осадки, выпавшие в апреле и марте). Более достоверны величины суммарного испарения за год, но наиболее правильным будет расчёт водного баланса, осредненный для одного или нескольких гидрологических циклов (т.е. периодов от одного самого маловодного года до другого). В начале периода наблюдений наименьшим по сумме осадков был 1951 г., следующий – 1955 г, затем 1957, 1959 и 1965 г. Определив среднее значение осадков и стока за гидрологический цикл 1951-1965 гг, получим следующее уравнение водного баланса бассейна р.Псий:

$$2940 \text{ мм} = 1940 + 1000 \text{ мм или } 100 \% = 66,0 \% + 34,0 \% \quad (2)$$

Полученное уравнение (в %) соответствует распределению элементов баланса, полученному на стационаре "Аибга" в 1967 гидрологическом году, близком по осадкам к среднемноголетней норме (Битюков, 2013).

Очень важно расчленить укрупненные показатели расходной части баланса на их составляющие, с тем, чтобы отчётливее выявить водорегулирующую роль леса (Таблица 2).

Суммарное испарение, составляющее 34 % от выпадающих осадков, включает: перехват осадков пологом леса, который будет зависеть от осадков и составляет в среднем 13,5 % (т.е. 400 мм), транспирацию (если принять по данным стационара "Аибга" в среднем около 380 мм, то это даст 12,9 % от осадков); испарение с почвы летом – около 90 мм (3,1 %) и зимой – 130 мм (4,5 %).

Расчленение стока р. Псий по видам питания, приведенное в Таблице 2, получено путем срезки пиков паводков на гидрографах стока. При этом предполагалось, что в течение 5-7 дней после дождя склоновый сток, имеющий наиболее значительные скорости добегания, полностью пройдет через замыкающий створ. В течение гидрологического года было выделено 3 самых характерных периода: начало холодного времени года (XI-XII), когда осадки обычно выпадают на предварительно увлажненную почву; зимне-весенний период (I-V), когда в бассейне происходит накопление снега и последующее его таяние, и летний период (VI-X), когда ливни выпадают обычно на иссушенную почву.

Склоновый сток в среднем составляет 53 % в XI-XII, 38 % – в I-V и 43 % – в VI-X от годового объема стока. Коэффициенты склонового стока в XI-XII изменялись в пределах 0,10-0,41 (в среднем 0,26), в I-V от 0,23 до 0,40 (в среднем 0,30), в VI-X – от 0,01 до 0,48 (в среднем 0,16). На Рисунке 5 приведен график динамики коэффициентов сезонного и годового стока р. Псий за весь период наблюдений. (1945–1988 гидрологические годы).

Объём склонового стока зависит от величины и интенсивности ливня, предварительного увлажнения почвы, интенсивности впитывания и других факторов. Коэффициент склонового стока характеризует суммарное действие всех факторов. Так, ноябрьские и декабрьские ливни в разные годы выпадают как на увлажненную, так и на неувлажненную почву, и коэффициенты стока варьируют весьма значительно. В зимне-весенний период при хорошем увлажнении почвы коэффициенты склонового стока достигают 0,30, хотя интенсивности осадков и снеготаяния гораздо меньше, чем в осенние и летние ливни. Летом склоновый сток уменьшается в среднем почти в 2 раза, а вариация его наибольшая.

Коэффициенты склонового стока для отдельных паводков при осадках 97-216 мм колеблются в пределах 0,027-0,61, а во время максимального за весь период наблюдений ливня в июне 1956 г. при осадках 384 мм коэффициент склонового стока достиг 0,90.

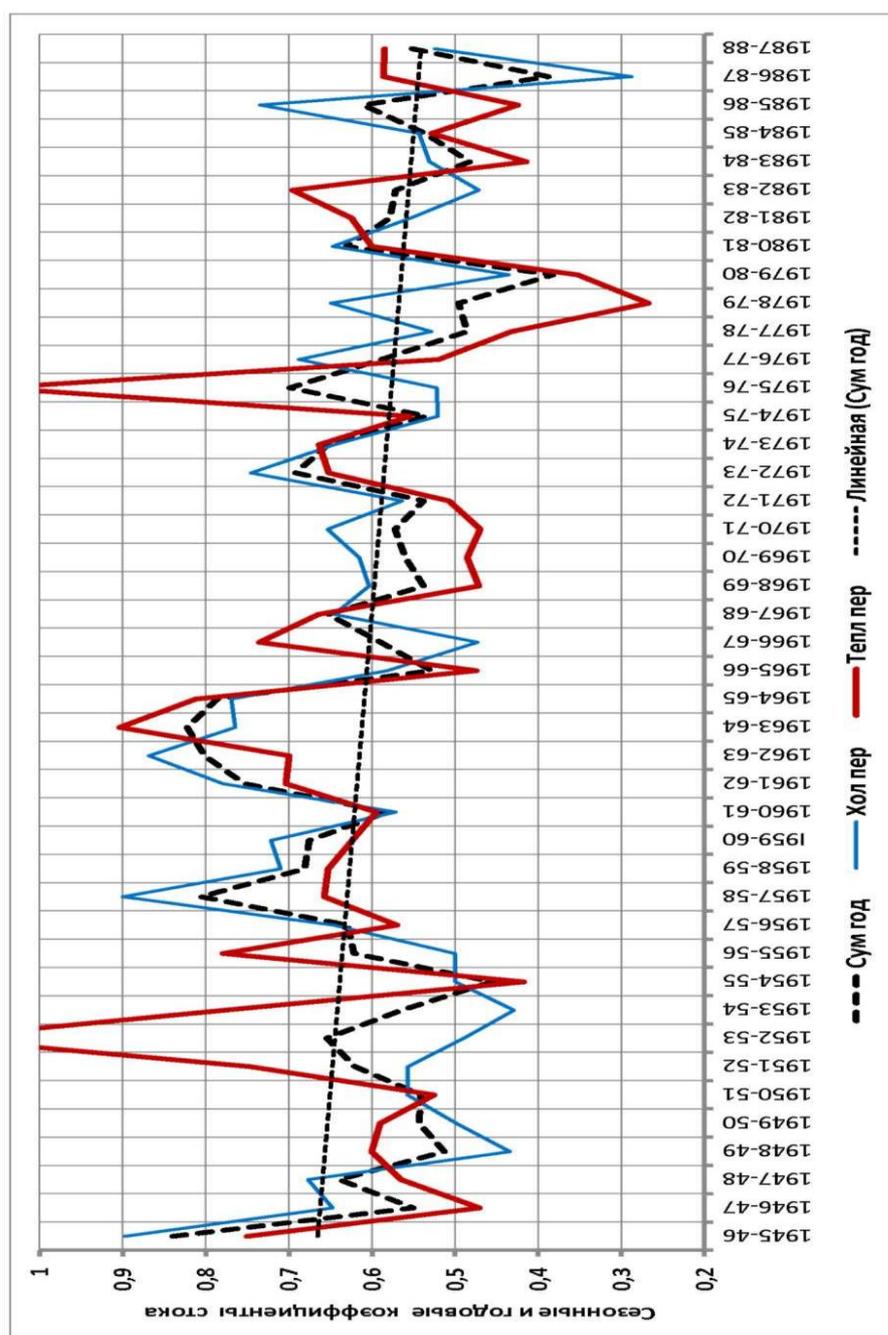


Рис. 5. Динамика сезонных и годовых коэффициентов стока р. Псий у с. Тух-Аул за период 1945-1988 гидр годы (в долях от ед-цы)

Однако, выпадение сильных ливней на очень увлажненную почву в летний период случается довольно редко. Летом осадки до 20 мм обычно не дают стока, а стокообразующими являются ливни более 20 мм.

Таким образом, в среднемноголетнем разрезе водный баланс бассейна реки Псий можно представить по формуле (1) в следующем виде:

$$2940 = 774 \text{ мм} + (90 \text{ мм} + 380 \text{ мм} + 400 \text{ мм}) + 0 + (130 \text{ мм} + 1166 \text{ мм}) \quad (3)$$

$$\text{или в \% от осадков: } 100 = 26,3 + (3,1 + 12,9 + 13,5) + (4,5 + 39,7) \quad (4)$$

В этом балансе преобладает инфильтрация в почвоподстилающие грунты и суммарное испарение. Расчет суммарного испарения как разницы между осадками и стоком имеет приближенный характер даже при условии полного дренирования руслом реки глубоких грунтовых вод, поскольку имеет место бассейновое регулирование стока.

Наиболее правильным будет расчет водного баланса для одного или нескольких гидрологических циклов, т.е. периода от одного из самого маловодного года до другого. Для бассейна р. Псий средний баланс за гидрологический цикл 1951-65 гг. выглядит следующим образом:

$$\text{в мм: } 2940 = 1940 + 1000; \quad (5)$$

$$\text{в \%: } 100,0 = 66,0 + 34,0. \quad (6)$$

Основную часть в балансе здесь занимает глубоководное грунтовое питание – в сумме со склоновым стоком оно достигает 66 % для р. Псий. Суммарное испарение составляет здесь около 1/3 баланса.

На малом бассейне р. Псий для отдельных паводков коэффициенты склонового стока (при осадках 100-200 мм) колеблются от 0,03 до 0,61, а во время максимального ливня в июле 1956 г. при слое осадков 384 мм коэффициент стока за паводок достиг 0,90. Обычные же осадки не превышают 20 мм, и летом стока не дают (стокообразующими являются ливни более 20 мм).

Водный баланс бассейна р. Куапсе

Бассейн реки Куапсе расположен в северо-западной части Большого Сочи, примерно в 7 км к северу от посёлка Лазаревское, в 75 км к северо-западу от Центрального района Сочи (Рисунок 1). Долина реки Куапсе зажата между Ашейским хребтом на севере и хребтом Безымянным на юге. Рельеф местности в низовьях в основном холмистый, в верхней части гористый с резкими перепадами относительных высот и обрывами. Средневзвешенная высота водосбора составляет 322,1 м над уровнем моря. В верховьях реки Куапсе расположены две горные вершины – Муззосуку (924 м НУМ) и Бозтепе (931 м НУМ). Вся территория бассейна заросла густым широколиственным лесом, имеются карстовые пещеры.

Гидрографическая сеть представлена рекой Куапсе и её притоками, а также озером «Счастье». В верховьях река принимает в себя множество родниковых речек различной величины. Также в бассейне реки расположены несколько водопадов, среди которых наиболее выделяются водопады – Мамедова, Берендеева Борода, Купала, Безымянная и др. Перед входом в ущелье долина реки загромождена глыбами жёлто-серого песчаника.

Климат на территории бассейна влажный при среднегодовой температуре воздуха около +13,5°C, со средними температурами июля около +24,0°C, и средними температурами января около +6,0°C. Среднегодовое количество осадков по данным ближайшей метеостанции Сочи 1556 мм (среднее за 113 лет наблюдений). При этом осадки холодного периода составляют 773 мм, а теплого сезона – 784 мм, то есть примерно равное количество осадков по сезонам и большим различиям по интенсивности дождей. На Рисунок 6 представлена цифровая модель рельефа бассейна реки Куапсе с гипсографической кривой водосбора.

В административном отношении на территории водосбора реки Куапсе располагается село Мамедова Щель, которое с 1965 года включено в состав Красноалександровского сельского округа (ныне Лыготхский) Большого Сочи, и делится на три микрорайона – собственно Мамедова Щель, а также Верхняя Мамедка и Родничок. Устье реки Куапсе считается частью курортного посёлка Лазаревское. Гидроним Куапсе в переводе с адыгейского «кьопсе» означает «кабан-река», так как раньше эти животные выбирали ее местом своего водопоя. Не исключено, что такое имя было дано речушке из-за бурного нрава во время непогоды.

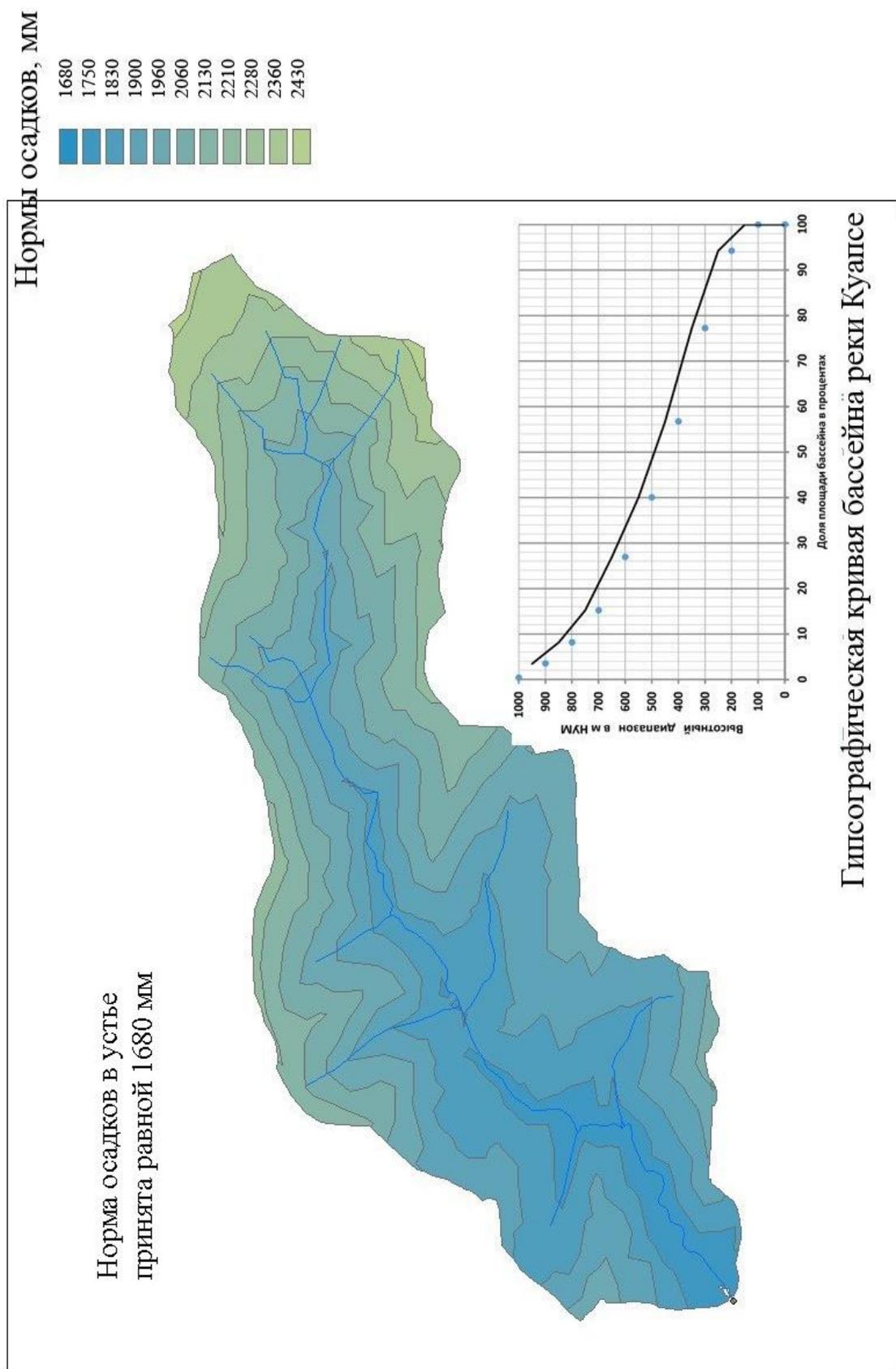


Рис. 6. Цифровая модель рельефа бассейна реки Куапсе (площадь водосбора 14,6 км², средневзвешенная высота бассейна 329,1 м НУМ)

На [Рисунке 7](#) представлена динамика сезонных и годовых сумм осадков на ближайшей к бассейну реки Куапсе метеостанции Сочи (высота 57 м НУМ). За 113-летний период наблюдений среднемесячные осадки изменялись от 87 до 180 мм, а максимальные за месяцы – от 269 до 581 мм. Многолетняя норма осадков здесь составила 1560 мм за гидрологический год при колебаниях сезонных сумм: за холодный период – от 348 до 1180 мм (среднее 776 мм), а за теплый период от 381 до 1329 мм (среднее 784 мм).

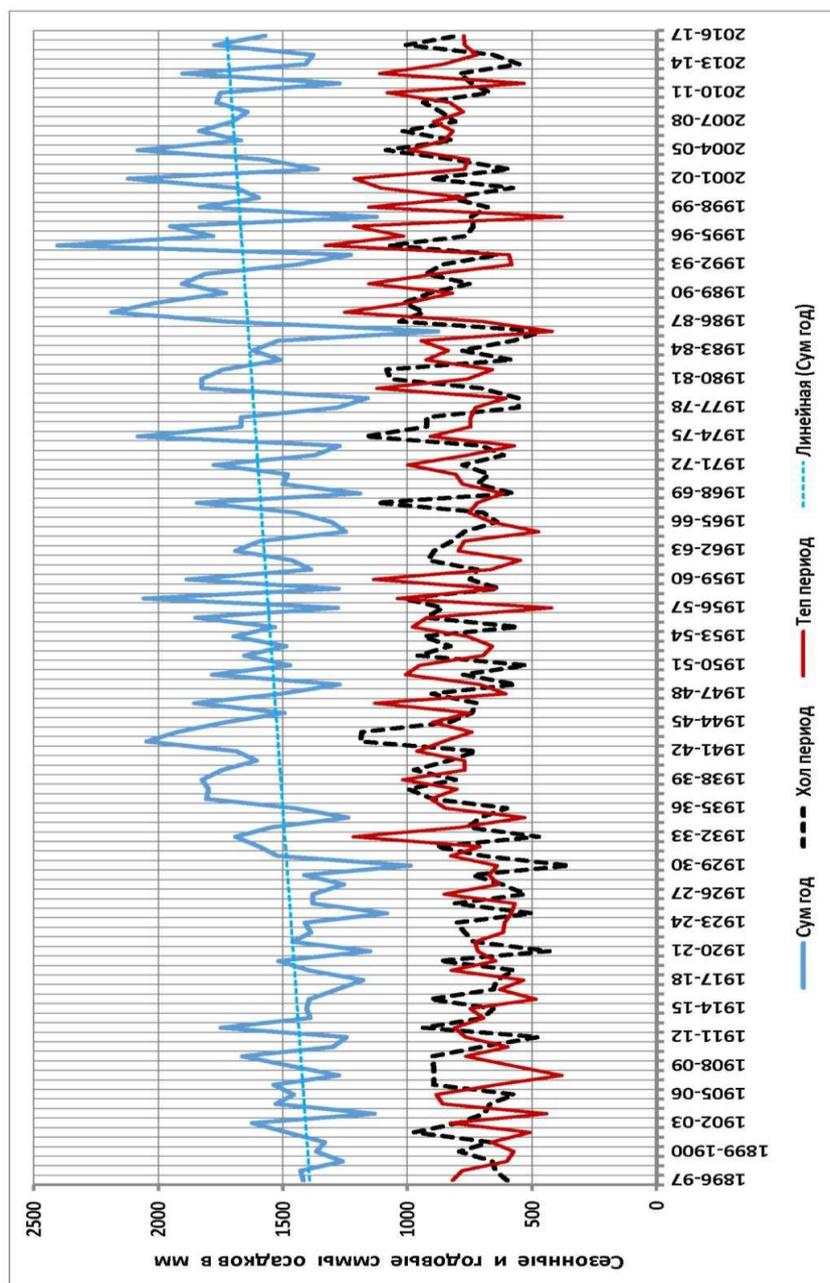


Рис. 7. Динамика сезонных и годовых сумм осадков на метеостанции Сочи за весь период наблюдений (1896–2017 гидрологические годы)

При водно-балансовых расчетах для горных водосборов, как и показано выше, важным является величина суммы осадков в устьевой части водосбора, а также принятое значение плувиометрического коэффициента (повышение осадков с высотой местности) ([Битюков, 2018](#)). Расчеты по имеющимся наблюдениям на метеостанциях показали, что среднее значение плувиометрического коэффициента для среднегорной зоны равен: $(3,8+6,5+4,8+4,8+5,8)/5 = 5,14$ % на 100 м. В высокогорной зоне (600-2000 м НУМ) средний

плювиометрический коэффициент для годовых сумм осадков можно принять 4,8 % на 100 м подъема. Если принять указанные значения поправок на величины осадков для бассейна реки Куапсе (Рисунок 6), то расчеты коэффициентов стока будут получены неверные (около половины значений их будут превышать 1,0, что в природе не может быть). В связи с этим нами предпринята попытка расчета плювиометрического коэффициента по паре метеостанций: МС Сочи (высота 57 м НУМ с нормой осадков 1560 мм за 67-летний период параллельных наблюдений) и МС СолохАул (высота 197 м НУМ с нормой годовых осадков 2361 мм за тот же период).

При указанных условиях в смежном с бассейном реки Куапсе бассейне реки Шахе в ниже-горной зоне плювиометрический градиент будет равен 17,3 % на 100 м подъема.

Для анализа ряда наблюдений за стоком реки Куапсе были привлечены материалы наблюдений за стоком на близлежащих водосборах рек Западный Дагомыс и Аше. За период параллельных наблюдений на реках Куапсе и Зап. Дагомыс 1975–2004 гидр. годы был построен хронологический график годовых сумм стока (Рисунок 8), а на Рисунок 9 показаны графики связи сезонных сумм.

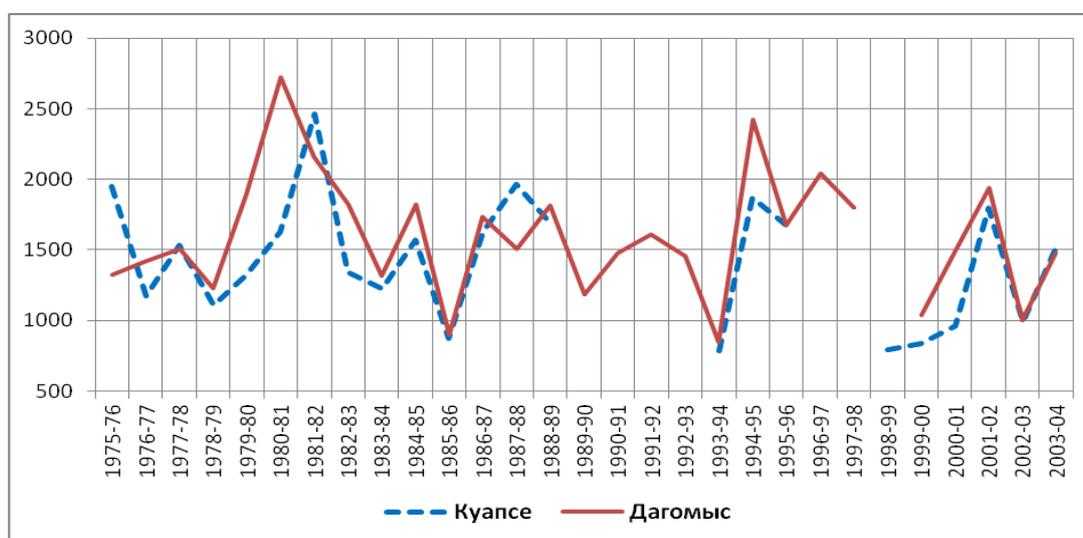


Рис. 8. Сравнение динамики годовых сумм стока (в мм слоя) рек Куапсе и Западный Дагомыс

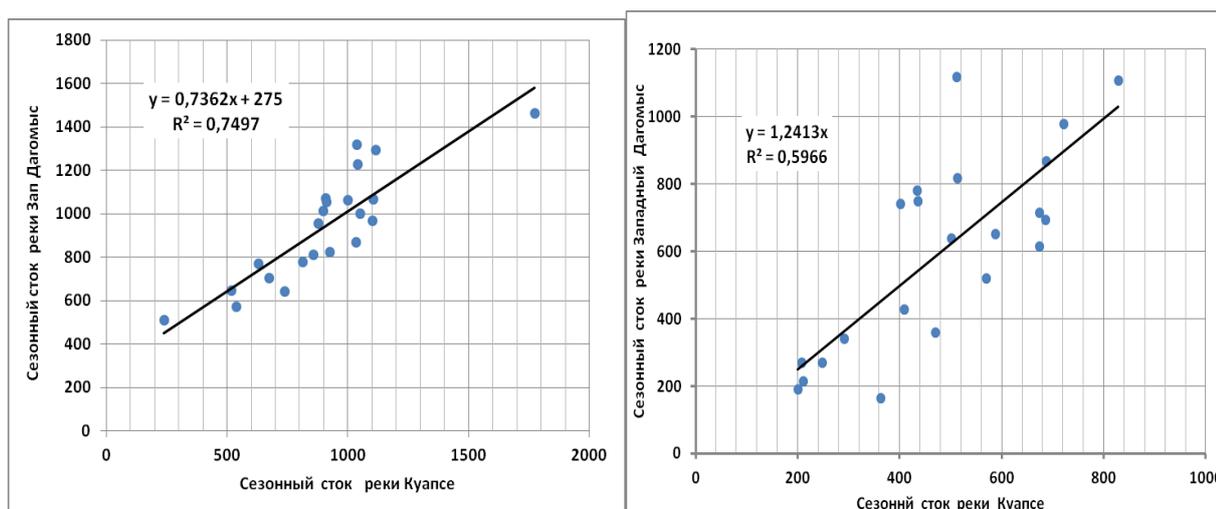


Рис. 9. Связь сезонного стока Куапсе и Зап Дагомыс, за холодный (слева) и теплый (справа) сезоны (в мм слоя)

С применением полученных зависимостей были продлены пропущенные периоды наблюдений в бассейне реки Куапсе.

Материалы, приведенные в [Таблице 3](#), показывают, что расчеты стока по данным двум смежным водосборам дают сравнимые результаты, при этом сток на малом водосборе р. Куапсе в среднем на 150 мм больше, чем на более значительном водосборе р. Аше, что соответствует общим гидрологическим закономерностям.

Таблица 3. Сравнение средних величин стока по параллельным наблюдениям на реках Куапсе у с. Мамедова Щель и Аше у с. Аше

Наименование гидроствора	Площадь водосбора, км ²	Характеристики стока	Средние нормы стока, мм			Период наблюдений, годы
			Гидрол год	Холодный сезон	Теплый сезон	
Р. Аше у с. Аше	238	Средний	1492,3	935	530,3	1954–1980
		Максимальный	2885,4	2138,4	929,2	
		Минимальный	689,8	401,1	67,5	
Р. Куапсе у с. Мамедова Щель	14,6	Средний	1639,2	1115,9	523,3	1954–1980
		Максимальный	2888,7	1962,6	1401,2	
		Минимальный	705,2	320,7	40,5	

На [Рисунке 10](#) представлена динамика сезонных и годовых сумм стока реки Куапсе у с. Мамедова Щель за весь период наблюдений (1945–2004 гидрологические годы) с восстановленными пропусками. Можно отметить резкие колебания как годового стока (в пределах от 705 мм в засушливый год до 2889 мм – в наиболее многоводный год), так и сезонного стока. Так, в холодный период при средней величине 1116 мм стока колебался от 321 мм до 1962 мм, а в теплый сезон при среднем значении 523 мм сток колебался от 40 мм до 1401 мм. Таким образом, сток холодного сезона превышает сток теплого сезона в 2,13 раза, что свидетельствует о значительном расходовании влаги на водосборе в период вегетации (учитывая, что количество выпадающих осадков примерно равное по сезонам – [Рисунок 7](#)).

В [Таблице 4](#) приведены результаты расчета коэффициентов годового и сезонных сумм стока по бассейнам рек Псий и Куапсе, выполненные с учетом высотных поправок для годовых и сезонных сумм осадков.

На [Рисунке 11](#) представлена многолетняя динамика коэффициентов годового и сезонных сумм стока реки Куапсе за весь период гидрологических наблюдений. Анализ графика показывает, что как годовые, так и сезонные значения этого параметра для бассейна прибрежных малых бассейнов характеризуются резкими колебаниями. Так, годовые коэффициенты стока при средней величине 0,44 изменялись в пределах от 0,20 в засушливые годы до 0,88 в многоводные годы; для холодного периода средняя величина коэффициента стока равна 0,55 при колебаниях от 0,17 до почти 1,0; для теплого сезона средняя величина 0,32 при колебаниях от 0,05 до 0,73.

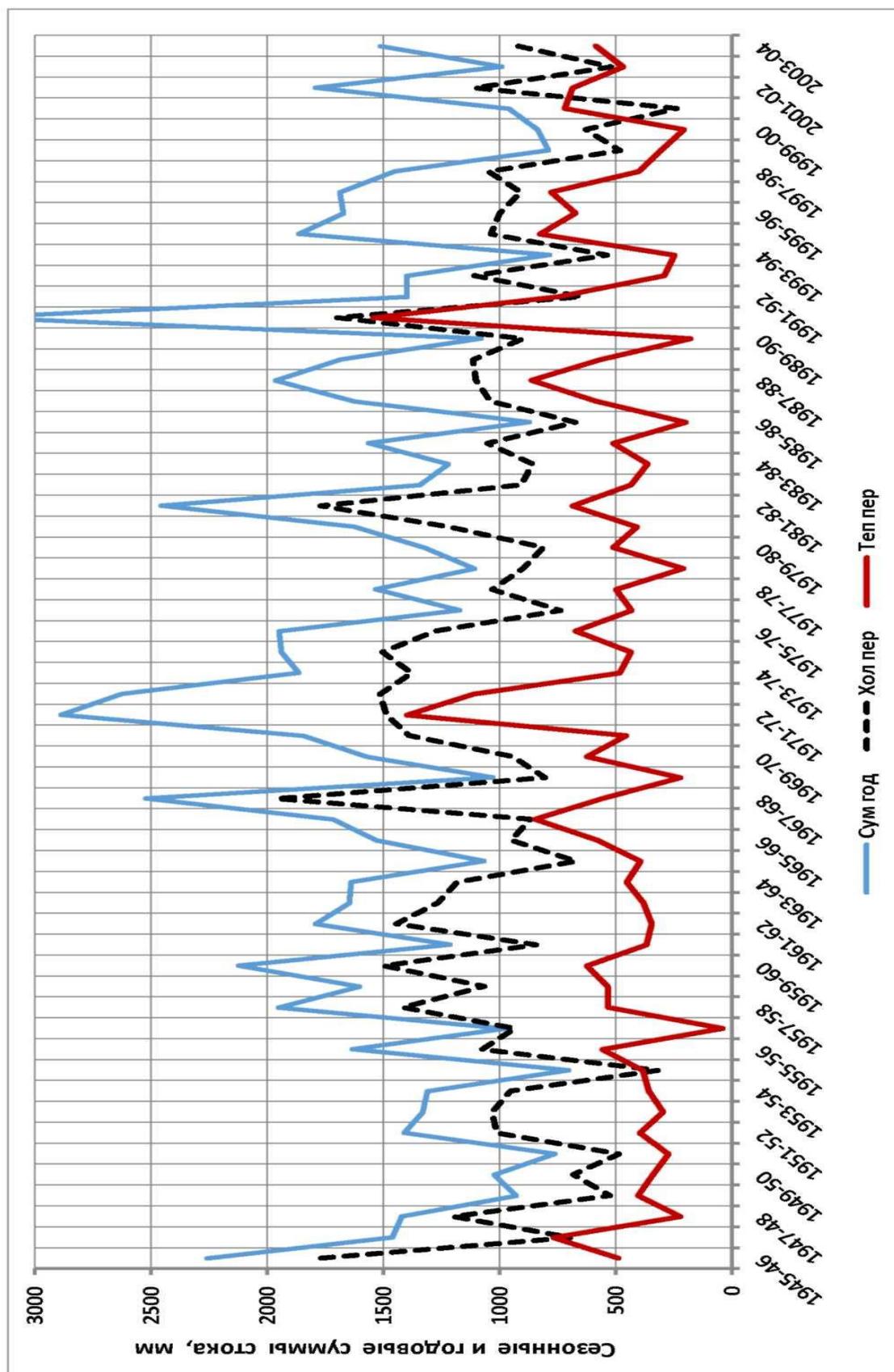


Рис. 10. Динамика сезонного и годового стока реки Куапсе у с. Мамедова Щель за период наблюдений 1945–2005 гидрологические годы ($F = 14,6 \text{ км}^2$)

Обращает на себя внимание уменьшение коэффициентов стока в период вегетации почти в два раза в сравнении со стоком холодного сезона. При этом величина водности года имеет слабую корреляцию со значением коэффициента стока (R^2 менее 0,3).

Таблица 4. Сезонные и годовые коэффициенты стока с водосборов рек Куапсе и Псий (в долях от единицы, т.е. суммы стока, поделённые на соответствующие суммы осадков)

Гидрол. годы	Коэффициенты стока р. Куапсе			Коэффициенты стока р. Псий_		
	Холодный период	Теплый период	Годовой	Холодный период	Теплый период	Годовой
1945–46	1,001	0,326	0,691	0,898	0,751	0,84
1946–47	0,403	0,34	0,367	0,648	0,471	0,551
1947–48	0,56	0,183	0,424	0,677	0,566	0,64
1948–49	0,39	0,285	0,336	0,434	0,601	0,513
1949–50	0,371	0,169	0,266	0,499	0,591	0,544
1950–51	0,392	0,144	0,242	0,558	0,526	0,541
1951–52	0,444	0,286	0,384	0,557	0,748	0,621
1952–53	0,524	0,226	0,405	0,49	1,126	0,655
1953–54	0,428	0,236	0,35	0,43	0,778	0,565
1954–55	0,243	0,196	0,215	0,5	0,418	0,456
1955–56	0,488	0,302	0,403	0,501	0,78	0,622
1956–57	0,458	0,048	0,339	0,647	0,57	0,63
1957–58	0,586	0,256	0,434	0,9	0,658	0,806
1958–59	0,711	0,414	0,573	0,71	0,653	0,681
1959–60	0,842	0,275	0,524	0,722	0,624	0,676
1960–61	0,492	0,277	0,398	0,572	0,595	0,582
1961–62	0,664	0,316	0,548	0,78	0,704	0,754
1962–63	0,596	0,239	0,443	0,869	0,7	0,802
1963–64	0,605	0,295	0,468	0,765	0,904	0,823
1964–65	0,366	0,415	0,383	0,77	0,813	0,787
1965–66	0,624	0,435	0,536	0,582	0,475	0,529
1966–67	0,525	0,562	0,542	0,473	0,736	0,59
1967–68	0,734	0,39	0,613	0,646	0,665	0,653
1968–69	0,591	0,181	0,396	0,604	0,472	0,538
1969–70	0,551	0,402	0,48	0,616	0,486	0,56
1970–71	0,867	0,282	0,573	0,654	0,47	0,573
1971–72	0,802	0,701	0,75	0,564	0,508	0,538
1972–73	1,036	0,732	0,881	0,746	0,652	0,692
1973–74	0,828	0,425	0,664	0,645	0,664	0,653
1974–75	0,54	0,239	0,421	0,521	0,555	0,535
1975–76	0,581	0,451	0,528	0,523	1,055	0,699
1976–77	0,337	0,291	0,318	0,688	0,52	0,589
1977–78	0,784	0,344	0,554	0,529	0,433	0,486
1978–79	0,68	0,174	0,438	0,65	0,268	0,496
1979–80	0,485	0,228	0,338	0,436	0,353	0,383
1980–81	0,479	0,27	0,401	0,648	0,601	0,631

1981–82	0,688	0,52	0,631	0,554	0,625	0,579
1982–83	0,658	0,235	0,416	0,472	0,696	0,572
1983–84	0,461	0,217	0,345	0,531	0,415	0,483
1984–85	0,77	0,272	0,48	0,544	0,529	0,537
1985–86	0,616	0,238	0,452	0,735	0,425	0,611
1986–87	0,424	0,419	0,422	0,288	0,587	0,388
1987–88	0,495	0,344	0,415	0,525	0,585	0,552
1988–89	0,462	0,285	0,382	-	-	-
1989–90	0,415	0,11	0,284	-	-	-
1990–91	0,952	0,669	0,792	-	-	-
1991–92	0,295	0,423	0,352	-	-	-
1992–93	0,541	0,251	0,436	-	-	-
1993–94	0,357	0,209	0,292	-	-	-
1994–95	0,406	0,311	0,358	-	-	-
1995–96	0,549	0,331	0,434	-	-	-
1996–97	0,52	0,32	0,404	-	-	-
1997–98	0,593	0,528	0,573	-	-	-
1998–99	0,299	0,133	0,201	-	-	-
1999–00	0,319	0,135	0,239	-	-	-
2000–01	0,173	0,325	0,267	-	-	-
2001–02	0,512	0,283	0,391	-	-	-
2002–03	0,37	0,305	0,336	-	-	-
2003–04	0,476	0,388	0,438	-	-	-
Средние	0,548	0,315	0,44	0,607	0,613	0,604
Макс	1,036	0,732	0,881	0,9	1,126	0,84
Миним	0,173	0,048	0,201	0,288	0,268	0,383
Лет	62	62	62	46	46	46

Приведенные данные свидетельствуют о больших различиях в формировании режима стока в различных частях территории Сочинского Причерноморья, которые обусловлены как режимом выпадения осадков, так и различиями в почвенно-растительных и геоморфологических характеристиках.

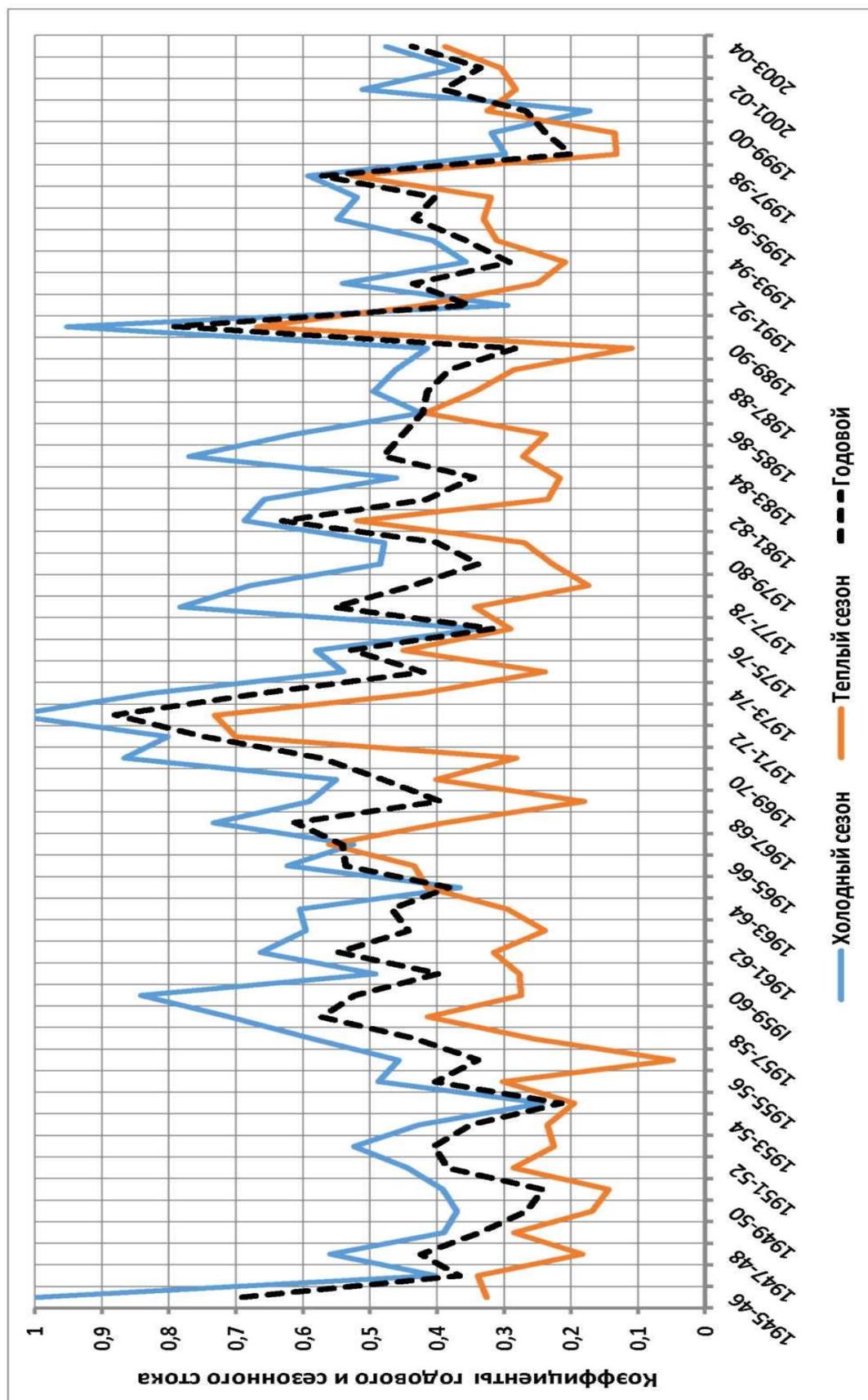


Рис. 11. Динамика коэффициентов сезонного и годового стока в бассейне реки Куапсе за период 1945–2005 гидрологические годы (в долях от ед-цы)

На [Рисунке 12](#) представлен совмещенный график изменений коэффициентов стока в среднегорной зоне (река Псий) и нижнегорной зоне (река Куапсе).

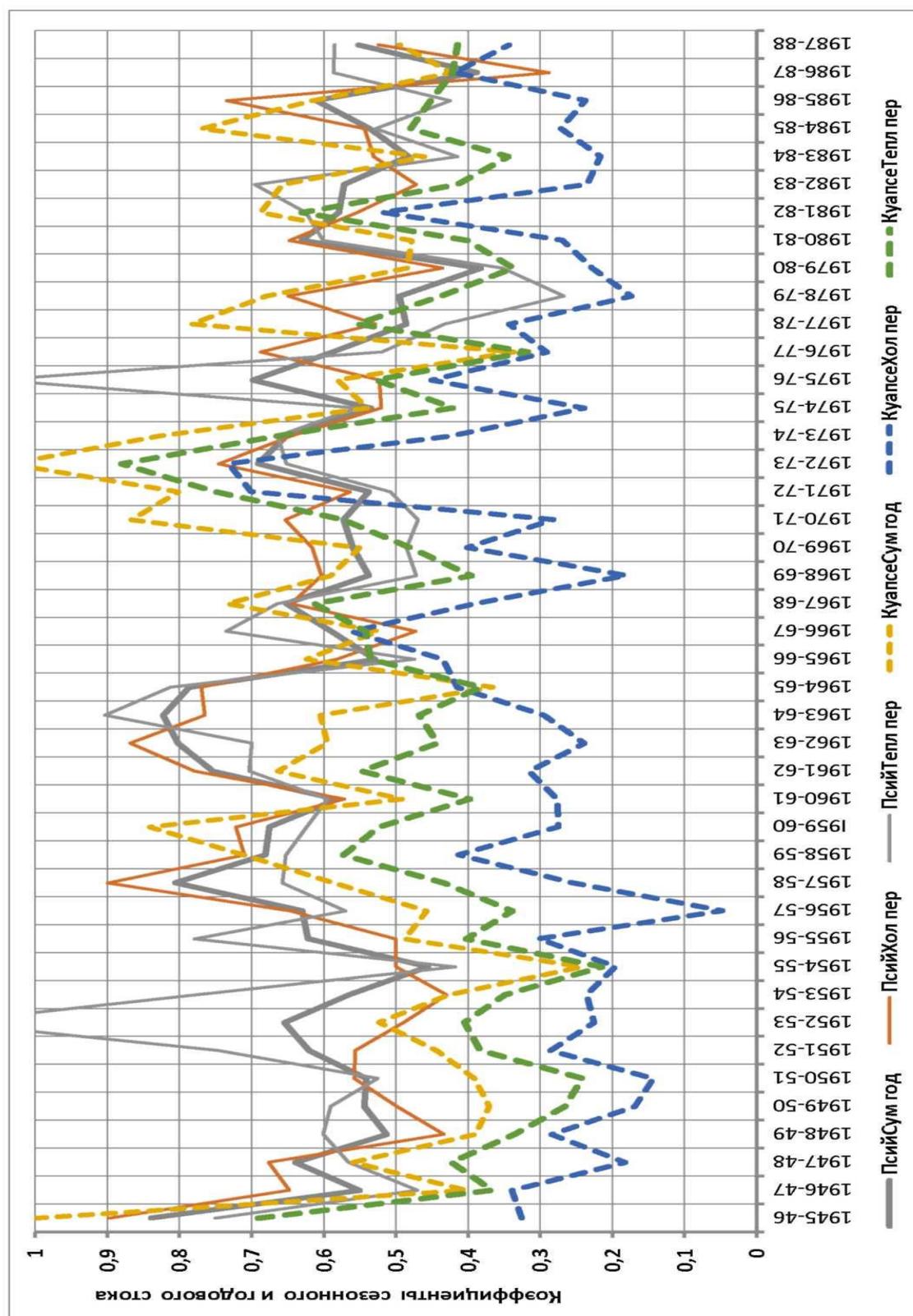


Рис. 12. Многолетняя динамика коэффициентов годового и сезонного стока рек Псий и Куапсе за период параллельных наблюдений (1945–1988 гидрологические годы)

Годовой водный баланс бассейна реки Куапсе выглядит следующим образом: в мм слоя $3520 = 1539 + 1981$ или в % $100 = 44,0 + 56,0$. Здесь осадки расходуются на 44 % на сток, а 56 % уходит на суммарное испарение.

За холодный период водный баланс в мм слоя $1876 = 1015 + 861$, или в % $100 = 54,8 + 45,2$, т.е. в осенне-зимний сезон больше половины осадков уходит на сток, и только 45 % – на суммарное испарение. В теплый период 1644 мм осадков на сток расходуется 533 мм (31,0 %), а остальные 1111 мм (69,0 %) составляет суммарное испарение.

4. Заключение

Изложенные результаты анализа стационарных наблюдений дают представление о наибольшем водорегулирующем воздействии горных лесов на водный баланс территории Сочинского Причерноморья, поскольку были взяты водосборы с лесными насаждениями, не затронутыми или умеренно затронутыми хозяйственной деятельностью. Однако, в процессе хозяйственного освоения региона лесная растительность претерпевает большие изменения, что влечет за собой изменение условий формирования стока поверхностных и грунтовых вод.

Среди расходных статей водного баланса на территориях, занятых растительностью в среднемноголетнем разрезе, преобладает инфильтрация в почвоподстилающие породы (40 %) и суммарное испарение (около 30 %).

Леса способствуют накоплению влагозапасов на водосборных бассейнах в холодный период года. Кривая истощения накопленных в зимний период запасов имеет длительность во времени около 4-5 месяцев, благодаря чему уменьшается напряженность в водоснабжении района в теплое время года.

Основную долю расхода составляет суммарное испарение. В отдельные годы, когда летом осадков выпадает достаточное количество, испарение только за летний период достигает 582 мм. Коэффициент естественной зарегулированности стока K_f для бассейна реки Псий определен $K_f = 0,65$; для реки Куапсе $K_f = 0,44$, а для ЛГС “Аибга” $K_f = 0,75$ (Битюков, 2013). Отсюда следует, что девственные буковые насаждения обладают наибольшим водорегулирующим воздействием на сток рек.

Литература

- Битюков, 1971 – Битюков Н.А. Речной сток в условиях Черноморского побережья Кавказа // Докл. Соч. отд. Геогр. общ-ва при АН СССР. 1971. Вып. 2, С. 184-189.
- Битюков, 1996 – Битюков Н.А. Гидрологическая роль горных лесов Северо-Западного Кавказа // Лесоведение, 1996. № 4. С. 39-50.
- Битюков, 1988 – Битюков Н.А. Водный баланс водосборов в связи с рубками в буковых лесах Северного Кавказа // Лесоведение, 1988. 3. С. 56-65.
- Битюков, 1990 – Битюков Н.А. Методические принципы изучения гидрологической роли горных лесов. // Проблемы лесоведения и лесной экологии: Тез. докл. АН СССР, Госкомлес СССР. 1990. М. С. 8-11.
- Битюков, 2007 – Битюков Н.А. Экология горных лесов Причерноморья. Сочи: ФГУ НИИгорлесэкол, 2007. 397 с.
- Битюков, 2013 – Битюков Н.А. Мониторинг экосистем буковых лесов Сочинского Причерноморья / Монография // Научные труды Сочинского Национального Парка, 2013. Вып. 5. 391 с.
- Битюков, Шагаров, 2013 – Битюков Н.А., Шагаров Л.М. Мониторинг атмосферных осадков в буковых лесах Черноморского побережья Кавказа // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2013. №1. С. 67-71.
- Битюков, Ткаченко, 2017 – Битюков Н.А., Ткаченко Ю.Ю. Гидрологический очерк Черноморского побережья Кавказа. Монография. Сочи, ФГБУ Сочинский национальный парк / Научные труды, 2017. Вып. 9. 460 с.
- Битюков, 2018 – Битюков Н.А. Особенности гидрологии Сочинского Причерноморья / Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий. Том 5. Сб. статей V Всерос. научно-практ. конф. Сочи. 2018. С. 50-61.
- Битюков и др., 2012 – Битюков Н.А., Пестерева Н.М., Ткаченко Ю.Ю., Шагаров Л.М. Рекреация и мониторинг экосистем Особо Охраняемых природных территорий Северного Кавказа: / Сочи: ГОУ ВПО СГУ, 2012. 456 с.

Государственный Водный Кадастр, 1971–1988 – Государственный Водный Кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Часть 1, Реки и каналы. Т. 1, РСФСР. Вып. 1, Бассейны рек северо-восточного побережья Черного моря, бассейн Кубани. Обнинск: ВНИИГМИ МИД, 1971–1988. 400 с.

Государственный водный кадастр, 2004 – Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. М., Метеоагентство Росгидромета. 2004. 350 с.

Коваль, Битюков, 2001 – Коваль И.П., Битюков Н.А. Экологические основы пользования лесом на горных водосборах (на примере Сев. Кавказа). Краснодар, 2001. 408 с.

Коваль, Битюков, 2000 – Коваль И.П., Битюков Н.А. Экологические функции горных лесов Северного Кавказа. М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. 480 с.

Коваль и др., 2012 – Коваль И.П., Битюков Н.А. Шевцов Б.П. Экологические основы горного лесоводства / Монография Сочи: ФБГУ «НИИгорлесэкол», 2012. 565 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР, 1973 – Ресурсы поверхностных вод СССР. 1973. Том 8, Северный Кавказ. Л.: Гидрометеиздат, 446 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР, 1975 – Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. 1975. Том 8, Северный Кавказ. Л.: Гидрометеиздат, 400 с.

References

Bityukov, 1971 – *Bityukov, N.A.* (1971). Rechnoi stok v usloviyakh Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza [River flow in the conditions of the Black Sea coast of the Caucasus]. *Dokl. Soch. otd. Geogr. obshch-va pri AN SSSR*. Vyp. 2, pp. 184-189. [in Russian]

Bityukov, 1996 – *Bityukov, N.A.* (1996). *Gidrologicheskaya rol' gornyx lesov Severo-Zapadnogo Kavkaza* [The hydrological role of the mountain forests of the North-Western Caucasus]. *Lesovedenie*. № 4. pp. 39-50. [in Russian]

Bityukov, 1988 – *Bityukov, N.A.* (1988). *Vodnyi balans vodosborov v svyazi s rubkami v bukovykh lesakh Severnogo Kavkaza* [The water balance of watersheds in connection with logging in the beech forests of the North Caucasus]. *Lesovedenie*. 3. pp. 56-65. [in Russian]

Bityukov, 2007 – *Bityukov, N.A.* (2007). *Ekologiya gornyx lesov Prichernomor'ya* [ecology of mountain forests of the Black Sea]. Sochi: FGU NIIgorlesekol, 397 p. [in Russian]

Bityukov, 2013 – *Bityukov, N.A.* (2013). *Monitoring ekosistem bukovykh lesov Sochinskogo Prichernomor'ya* [Ecosystem monitoring of the beech forests of the Sochi Black Sea Region]. *Monografiya. Nauchnye trudy Sochinskogo Natsional'nogo Parka*. Vyp.5. 391 p. [in Russian]

Bityukov, Tkachenko, 2017 – *Bityukov, N.A., Tkachenko, Yu.Yu.* (2017). *Gidrologicheskii ocherk Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza* [Hydrological essay on the Black Sea coast of the Caucasus]. *Monografiya. Sochi, FGBU Sochinskii natsional'nyi park. Nauchnye Trudy*. Vyp. 9. 460 p. [in Russian]

Bityukov, 2018 – *Bityukov, N.A.* (2018). *Osobennosti gidrologii Sochinskogo Prichernomor'ya* [Features of the Sochi Black Sea Hydrology]. *Ustoichivoe razvitie osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii*. Tom 5. Sb. statei V Vseros. nauchno-prakt. konf. Sochi. pp. 50-61. [in Russian]

Bityukov i dr., 2012 – *Bityukov, N.A., Pestereva, N.M., Tkachenko, Yu.Yu., Shagarov, L.M.* (2012). *Rekreatsiya i monitoring ekosistem Osobo Okhranyaemykh prirodnykh territorii Severnogo Kavkaza* [Recreation and monitoring of ecosystems of the Particularly Protected Natural Territories of the North Caucasus]. Sochi: GOU VPO SGU, 456 p. [in Russian]

Gosudarstvenniy Vodniy Kadastr, 1971–1988 – Gosudarstvenniy Vodniy Kadastr. *Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. Chast' 1, Reki i kanaly* [The State Water Cadastre. The annual data about a mode and resources of a surface water of a land. art 1, the Rivers and channels]. Т. 1, RSFSR. Vyp. 1, Basseiny rek severo-vostochnogo poberezh'ya Chernogo morya, bassein Kubani. Obninsk: VNIIGMI MID, 1971–1988. 400 p. [in Russian]

Gosudarstvenniy Vodniy Kadastr, 2004 – Gosudarstvenniy vodniy kadastr. *Resursy poverkhnostnykh i podzemnykh vod, ikh ispol'zovanie i kachestvo* [The State water cadastre. The resources of superficial and underground waters, their use and quality]. М., Метеоагентство Росгидромета. 2004. 350 p. [in Russian]

Koval', Bityukov, 2001 – *Koval', I.P., Bityukov, N.A.* (2001). *Ekologicheskie osnovy pol'zovaniya lesom na gornyx vodosborakh (na primere Sev. Kavkaza)* [Ecological bases of forest

use in mountainous watersheds (using the example of the North Caucasus)]. Krasnodar, 408 p. [in Russian]

[Koval', Bityukov, 2000](#) – Koval', I.P., Bityukov, N.A. (2000). *Ekologicheskie funktsii gornyykh lesov Severnogo Kavkaza* [Ecological functions of the mountain forests of the North Caucasus]. M.: VNIITslesresurs, 480 p. [in Russian]

[Koval' i dr., 2012](#) – Koval', I.P., Bityukov, N.A. Shevtsov, B.P. (2012). *Ekologicheskie osnovy gornogo lesovodstva* [Ecological foundations of mountain forestry]: Monografiya Sochi: FBGU «NIIGorlesekol», 565 p. [in Russian]

[Resursi poverhnostnih vod SSSR, 1973](#) – Resursi poverhnostnih vod SSSR [Resources of a surface water of the USSR]. 1973. Tom 8. Severniy Kavkaz. L. Gidrometeoizdat. 446 p. [in Russian]

Водный баланс бассейнов малых рек Сочинского Причерноморья

Николай Александрович Битюков ^{a, *}

^a Сочинский национальный парк, Сочи, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена анализу гидрологического режима малых рек Черноморского побережья Кавказа, расположенных в среднегорной и низкогорной зонах. На основе ГИС-технологий разработаны карты распределения высотных зон бассейнов этих рек с гипсографическими кривыми. Для среднегорной зоны Сочинского Причерноморья приведен анализ гидрологического режима бассейна реки Псий с площадью водосбора 20,4 км² и средней высотой 664 м над уровнем моря (притока реки Шахе). Для характеристики гидрологии низкогорья рассмотрен водосбор реки Куапсе с площадью 14,6 км², и средней высотой 322 м, впадающей в Черное море. Установлено, что приходная часть водного баланса этих рек в виде осадков, измеренных на метеостанциях в устьевых участках рек, является заниженной из-за высотной зональности водосборов. Для учета влияния этого фактора были рассчитаны поправочные коэффициенты, равные увеличению осадков на 4,5 % при подъеме на каждые 100 м – в среднегорной зоне, и на 17,3 % на 100 м подъема – в низкогорной зоне.

В результате расчетов для среднегорной зоны установлено, что для р. Псий основную часть в балансе занимает лубоководное грунтовое питание – в сумме со склоновым стоком оно достигает 66 %. Суммарное испарение составляет здесь около 1/3 баланса.

Для низкогорной зоны годовой водный баланс бассейна реки Куапсе выглядит следующим образом: в мм слоя 3520 = 1539 + 1981 или в % 00=44,0 + 56,0. Здесь осадки расходуются на 44 % на сток, а 56 % уходит на суммарное испарение. За холодный период больше половины осадков уходит на сток, и только 45 % – на суммарное испарение. В теплый период из 1644 мм выпадающих осадков на сток расходуется 533 мм (31,0 %), а остальные 1111 мм (69,0 %) составляет суммарное испарение.

Ключевые слова: Сочинское Причерноморье, геоморфология Кавказа, речная сеть, бассейны рек, нормы осадков, гидрологический режим рек.

* Корреспондирующий автор
Адреса электронной почты: nikbit@mail.ru (Н.А. Битюков)