

МАКСИМАЛЬНЫЙ ПАВОДОЧНЫЙ СТОК НА РЕКАХ СОЧИНСКОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ

Битюков Николай Александрович

д.б.н., профессор, ведущий научный сотрудник
ФГБУ «Сочинский национальный парк», Сочи
nikbit@mail.ru

Аннотация. В статье излагаются результаты исследований максимального паводочного стока рек и особенностей речных бассейнов различного ранга территории Сочинского Причерноморья. Дан анализ генезиса паводков, начиная от склоновой формы стока и заканчивая многолетним режимом максимальных расходов воды на основных реках региона. Сделана оценки повторяемости (обеспеченности в многолетнем ряду) максимальных паводков на реках. Анализ географических факторов формирования максимального стока рек позволил получить уточненную оценку пространственного распределения этих характеристик на территории Сочинского Причерноморья.

Ключевые слова: катастрофические наводнения, максимальный сток, паводки, речная сеть, Сочинское Причерноморье.

Изучаемая территория является частью Северо-Западного Кавказа, именуемая также Черноморским побережьем Кавказа, и включает территорию Сочинского национального парка, а также сопредельную городскую территорию муниципального образования Сочи и часть Кавказского госзаповедника. Поскольку речная сеть здесь формируется как единое целое и является результатом взаимодействия сложных физико-географических процессов (климатических, гидрологических, геоморфологических и других), целесообразно общую территорию обозначить как Сочинское Причерноморье. Особенностью этой территории в гидрологическом отношении является то, что район представляет собой комплекс замкнутых речных бассейнов с геоморфологически очерченным контуром, внутри которого происходит весь процесс круговорота влаги. Осадки, выпадающие в бассейнах рек в виде дождя и снега, частично уходят на испарение и транспирацию, но большей частью возвращаются поверхностным и подземным стоком в море. Подробно условия формирования геологии, геоморфологии, рельефа и климата изучаемого района, а также анализ гидрологического режима изложены ранее (Битюков, 2018).

Максимальный паводочный сток (ливневой склоновый сток) возникает за счет превышения интенсивности дождя над интенсивностью поверхностного впитывания. Величина склонового стока в горных условиях определяется не только интенсивностью ливня в ее соотношении с

впитывающей способностью почв, но и кривой распределения на бассейне свободной емкости почвенной аккумуляции. Площадь стока всегда меньше, иногда же значительно меньше площади бассейна, но стокоформирующими могут быть как угодно малые интенсивности дождя, поэтому даже на больших бассейнах имеют место дождевые паводки, иногда и относительно высокие.

Анализ литературных данных показал, что группой ученых Московского Госуниверситета им. Ломоносова (Магрицкий Д.В. и др., 2013, Алексеевский Н.И. и др., 2016) проведен анализ наводнений на Черноморском побережье Краснодарского края в период наблюдений с 1945 по 2013 г. Ими были выделены основные генетические типы наводнений, изучены особенности и закономерности трансформации паводочных волн по длине рек и во времени. Выполнено исследование сезонного и максимального стока рек региона за многолетний период, выявлены закономерности изменения числа наводнений и их характеристик по территории Черноморского Побережья.

Так, этими учеными разработана классификация наводнений, основанная на условиях формирования паводков. Установлено доминирование стоковых наводнений на реках, при которых максимальные уровни воды H_{\max} превышают уровни критические $H_{\text{кр}}$, и $Q_{\max} > Q_{\text{кр}}$.

При этом паводковым затоплениям подвержена пойменная часть речных долин рек региона. Отмечается, что масштаб ливневых наводнений возрастает при плохом функционировании ливневой канализации, поэтому обычно они встречаются именно в населенных пунктах Сочинского Причерноморья, и их повторяемость увеличивается с ростом площади урбанизированных территорий.

Материалы и методы. По данным вышеприведенных авторов, наводнения на реках Сочинского Причерноморья можно разделить на небольшие (или опасные затопления) (I), умеренно опасные (II), большие (III), катастрофические (IV) и выдающиеся (V). При этом обоснованы различные качественные и количественные критерии, из которых основные – повторяемость, величина превышения H_{\max} над $H_{\text{кр}}$, размеры территории и число населенных пунктов, охваченных воздействием наводнений и их факторов, величина прямого материального ущерба и угроза для жизни населения. В числе критериев были приняты следующие: а) характер прямого повреждения промышленных объектов и дорожной инфраструктуры, жилых зданий; б) размеры и структура затопления освоенной территории; в) степень нарушения уклада жизни и производственной деятельности людей; г) необходимость эвакуации людей; д) ухудшение экологической обстановки и др.

Рассчитана средняя повторяемость наводнений выделенных порядков (по данным Алексеевского и др., 2016). В целом многолетняя частота наводнений составляет примерно 1 раз в 0.3 года, а средняя высота

превышения $H_{\text{макс}}$ над отметкой начала затопления поймы для наводнений оказалась равной 0.3 м, 0.8 м, 1.5 м, 2.5 м и 3.5 м. Жертвы возможны при типах наводнений III (от одного до нескольких человек) и IV–V (до нескольких десятков человек и больше).

Отмечается большая скорость паводков, которая в зависимости от уклона русла и расхода воды Q и может достигать 1.5–5 м/с. Максимальные скорости течения $v_{\text{макс}}$ во время средних по высоте паводков лостишают 3.5–4.5 м/с. При этом средние скорости течения почти в 1.5 раза меньше, а наибольшие – изменяются в пределах от 5.5 до 7 м/с, но могут быть выше. Так, 7.10.1970 г. на р. Куапсе была измерена $v_{\text{макс}} = 8.75$ м/с.

Обсуждение. Натурными измерениями установлено, что максимальные глубины затопления речными водами в регионе достигают 3 м и более, а максимальный подъем уровня ($\Delta H_{\text{макс}} = H_{\text{макс}} - H_{\text{предпав}}$) в руслах рек может достигать 5–7 м и более (табл. 1). В наводнение 1 августа 1991 г. на участке сужения долины р. Туапсе (между поселками Кирпичный и Цыпка) подъем уровня воды над предпаводочным достиг 10–11 м., выше створа автомобильного моста в г. Туапсе – около 10 м, а в створе одноименного гидрологического поста, вне зоны влияния обозначенных факторов, $\Delta H = 6.72$ м.

В период прохождения паводков отмечаются значительные плановые и вертикальные деформации речных русел. Так, паводок на р. Мацесте в сентябре 1913 г. привел к размыву и смещению береговой линии более чем на 400 м. В течение года почти 71% катастрофических наводнений в Причерноморье приходится на летний период; 29% из них происходит в октябре-ноябре. Почти 52% больших наводнений случаются летом, 26% – в сентябре-октябре, остальные 22% – зимой и ранней весной. Зафиксировано возрастание числа наводнений в течение года (рис. 1), что связано с явными региональными признаками изменения климата (повышением температуры воздуха и увеличением суммы осадков и суточных максимумов осадков, числа смерчей и др.)

Таблица 1

Критические уровни воды H и соответствующие им расходы воды Q на некоторых реках Сочинского Причерноморья (по данным Алексеевского и др., 2016)

Река – пост	Отметки выхода воды на пойму		Отметки неблагоприятного явления		Отметки опасного явления		Период наблюдений, годы
	H , см	Q , м ³ /с	H , см	Q , м ³ /с	H , см	Q , м ³ /с	
Р.Куапсе – Мамедова Щель	300	55	310	65	330	85	2005–2010

Р.Шахе – с.Солох-Аул	520	380	580	600	600	650– 680	1964–2010
Р.Сочи – с.Пластунка	540	240	600	480	650	640	2003–2010
Р.Сочи – г.Сочи	300	320	330	500	360	650	2002–2012
Р.Мзымта – Казачий Брод	300	330	340	460	380	600– 620	2000–2012

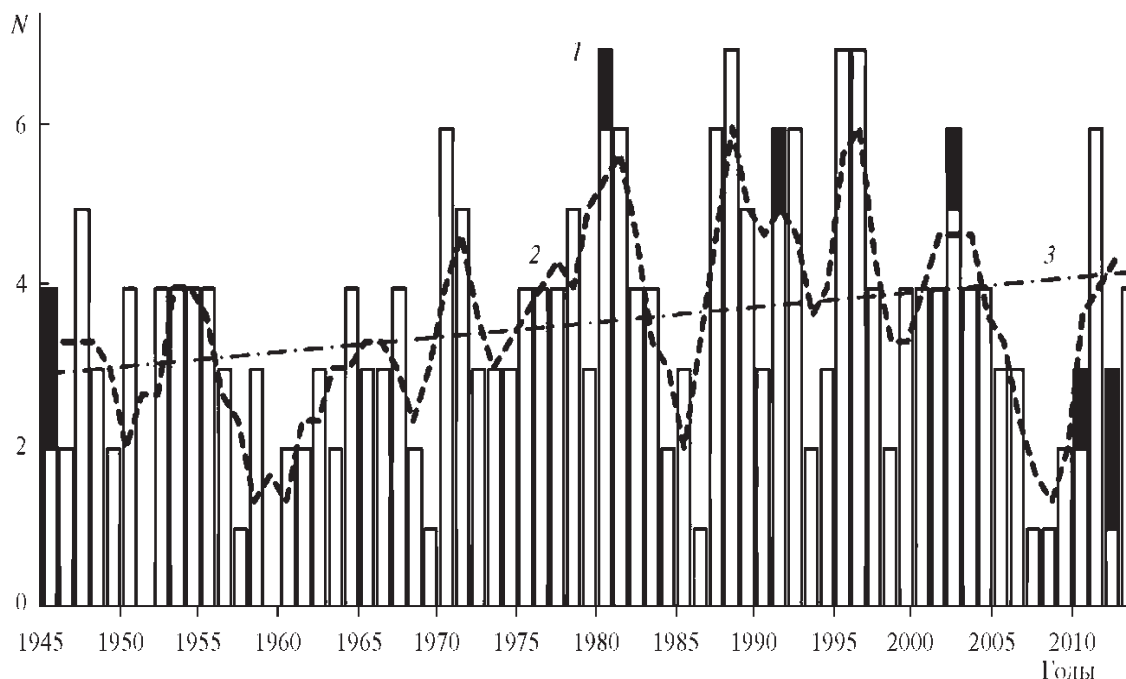


Рисунок 1 – Многолетняя динамика числа наводнений N в Причерноморье:
*1 – случаи катастрофических и выдающихся наводнений; 2 –
сглаживающая кривая; 3 – линейный тренд*

В качестве примера ниже приведены расчеты заполнения русел рек в бассейнах р. Туапсе и близлежащих рек при прохождении катастрофического паводка в октябре 2010 года (табл. 2).

Таблица 2

Гидравлические расчеты наполнения русел рек Черноморского побережья во время катастрофического паводка 15–16 октября 2010 г. (по данным ГКУ Краснодарского края «Территориальный центр мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера»)

Н м	Элементы реки	$W, \text{ м}^2$	$\chi \text{ м}$	$R, \text{ м}$	I	$1/n$	C	$v \text{ м/с}$	$Q \text{ м}^3/\text{с}$
<i>Гидравлический расчет наполнения р. Туапсе – п. Куртичный (створ I-I)</i>									
7.0	Русло	196.5	35	5.61	0.004	25	33.34	4.99	982
3.0	Пр. пойма	172.5	65	2.65	0.002	12.5	14.71	1.07	185
3.0	Лев. пойма	200.0	100	2.00	0.002	12.5	14.03	0.89	178

									$\Sigma=134$ 4
<i>Гидравлический расчет наполнения р. Туапсе – г/п Туапсе (старый пост) (створ II–II)</i>									
8,5	Русло	292,5	58	5,04	0,005	25	32,75	5,20	1521
2,5	Пр. пойма	36,8	21	1,75	0,003	12,5	13,72	0,99	36,5
2,5	Лев. пойма	20,5	14	1,46	0,003	12,5	13,32	0,88	18,1
									$\Sigma=157$ 5
<i>Гидравлический расчет расхода р. Туапсе – г/п Туапсе (новый пост-гидроствор) (створ III–III)</i>									
7.5	Русло	285.3	74	3.85	0.007 3	25	31.31	5.25	1498
1.5	Лев. пойма	118.0	60	1.97	0.003	12.5	14.00	1.08	127
									$\Sigma=162$ 5
<i>Гидравлический расчет расхода р. Туапсе – г. Туапсе (мост «Сочинский») (створ IV–IV)</i>									
5.6	Русло	442	125	3.54	0.004	25	30.88	3.67	1624
									$\Sigma=162$ 4
<i>Гидравлический расчет наполнения р. Спорная – с. Кривенковское (створ V–V).</i>									
3.0	Русло	46.3	15	3.1	0.004	20	24.15	2.68	124
0.5	Пр. пойма	50.0	50	1.0	0.002	12.5	12.50	0.56	28.0
0.5	Лев. пойма	10.0	10	1.0	0.002	12.5	12.50	0.56	5.59
									$\Sigma=158$
<i>Гидравлический расчет наполнения р. Пшенахо – с. Анастасиевка (мост на окраине с. Георгиевское) (створ VI–VI)</i>									
4.5	Русло	158.9	40	3.97	0.004	20	25.18	3.17	504
4.0	Пр. пойма	160.0	80	2.00	0.001	12.5	14.03	0.63	100
4.0	Лев. пойма	160.0	80	2.00	0.001	12.5	14.03	0.63	100
									$\Sigma=704$
<i>Гидравлический расчет наполнения р. Пшенахо – с. Георгиевское (в 1 км выше слияния с рекой Туапсе) (створ VII–VII)</i>									
4.5	Русло	203.7	50	4.07	0.004	20	25.28	3.23	657
2.5	Пр. пойма	510.0	200	2.55	0.001	12.5	14.62	0.74	367
									$\Sigma=103$ 4
<i>Гидравлический расчет наполнения р. Мал. Псеуixo – с. Георгиевское (створ VIII–VIII)</i>									
2.8	Русло	85.6	30	2.85	0.004	20	23.82	2.54	218

1.5	Пр. пойма	60.0	80	0.75	0.002	12.5	11.91	0.46	27.7
1.8	Лев. пойма	95.0	90	1.06	0.002	12.5	12.62	0.58	55.2
									$\Sigma=301$
<i>Гидравлический расчет наполнения р. Цыпка – с. Цыпка (створ IX–IX)</i>									
2.3	Русло	97.3	55	1.77	0.004	20	22.00	1.85	180
0.5	Пр. пойма	30.0	50	0.60	0.002	12.5	11.48	0.40	11.9
0.7	Лев. пойма	35.0	30	1.17	0.002	12.5	12.83	0.62	21.7
									$\Sigma=214$
<i>Гидравлический расчет наполнения р. Макопсе – с. Макопсе (створ X–X)</i>									
3.0	Русло	108.3	60	1.81	0.004	20	22.08	1.88	203
1.0	Пр. пойма	50.0	50	1.00	0.002	12.5	12.50	0.56	28.0
									$\Sigma=231$
<i>Гидравлический расчет наполнения р. Шенси – с. Шенси (створ XI–XI)</i>									
4.0	Русло	127.5	60	2.13	0.004	20	22.69	2.09	267
1.0	Пр. пойма	60.0	60	1.00	0.002	12.5	12.50	0.56	33.5
1.0	Лев. пойма	80.0	80	1.00	0.002	12.5	12.50	0.56	44.7
									$\Sigma=345$
<i>Гидравлический расчет наполнения р. Псебе – с. Новомихайловское (створ XII–XII)</i>									
4.5	Русло	116.4	35	3.33	0.004	20	24.45	2.82	328
1.0	Пр. пойма	25.0	25	1.00	0.002	12.5	12.50	0.56	14.0
									$\Sigma=342$
<i>Гидравлический расчет наполнения р. Нечепсухо – с. Новомихайловское (створ XIII–XIII)</i>									
4.0	Русло	175.0	50	3.5	0.004	20	24.65	2.92	510
1.0	Пр. пойма	400.0	500	0.8	0.002	12.5	12.04	0.48	193
0.5	Лев. пойма	30.0	30	1.0	0.002	12.5	12.50	0.56	16.8
									$\Sigma=720$
<i>Гидравлический расчет наполнения р. Джубга – с. Джубга (створ XIV–XIV)</i>									
4.0	Русло	101.0	25	4.04	0.004	20	25.25	3.21	324
2.8	Пр. пойма	84.0	40	2.10	0.002	12.5	14.15	0.92	77.0
2.5	Лев. пойма	45.8	45	1.02	0.002	12.5	12.54	0.57	25.9
									$\Sigma=427$

Примечание:

H м – высота уровня воды в м; **W**, м² – площадь поперечного сечения в м²; **χ** м – ширина русла в поперечном сечении в м; **R**, м – гидравлический радиус в м; **I** – продольный уклон реки в долях от единицы; **1/n** – показатель шероховатости русла; **C** – скоростной коэффициент в формуле Шези; **v** м/с – средняя скорость потока в м/с; **Q** м³/с – расход воды в поперечном сечении в м³/с.

По расчетам, в этот же паводок (табл. 2) максимальный расход воды достигал на р.Макопсе – 231 м³/с, на р.Шепси – 345 м³/с, на р.Псебе – 342 м³/с, на р.Нечепсухо – 720 м³/с. Следует обратить внимание, что при этих расчетах очень важна принимаемая величина коэффициента шероховатости, методика расчетов которого приведены в статье Н.А.Битюкова (2018).

Исследования максимального стока на малых (элементарных) водосборах. Изучение стока на лесогидрологическом стационаре (ЛГС) «Аибга» (Битюков, 2013) показали, что средняя величина стокообразующего дождя на элементарном водосборе оказывается равной 50 мм (коэффициент вариации ряда наблюдений $C_v = 0.62$, коэффициент асимметрии $C_s = 1.1$), при его продолжительности 11.4 часа ($C_v = 0.74$, $C_s = 1.9$). В качестве примера приводим анализ обычного летнего паводка от ливня 98 мм, выпавшего 25–26 мая 1966 г. на увлажненную почву со средней интенсивностью 0.04 мм/мин и давшего слой паводка 2.4 мм. Максимальный за период наблюдений до рубки леса (1964–1972 гг.) паводок прошел 14–16.VI.1966 г. Непосредственно перед паводком, в период с 10 по 13.VI, шли дожди, составившие 150.7 мм и увлажнившие почву до величин наименьшей влагоемкости (НВ). Прошедший ливень составил 122.7 мм, в течение 16 часов, прошел со средней интенсивностью 0.13 мм/мин. При этом ядро ливня, обусловившее пик паводка редкой повторяемости, дало интенсивность 0.68 мм/мин в течение 70 мин (его слой составил 47.3 мм). Коэффициент склонового стока за этот паводок достиг 17.5%, слой стока – 21.5 мм, максимальный модуль – 1934 л/сек с км² (или 0.116 мм/мин). За весь период наблюдений паводок в июне 1966 г. был единственным, после прохождения которого под пологом леса были отмечены следы поверхностного стока по тальвегам и уплотненным местам в виде смытой подстилки и обнаженной поверхности почвы. Однако, мутность воды в ручье не превышала 92 г/м³, хотя верхний рельеф водослива был заилен наполовину (около 0.2 м³ отложений из почвенно-грунтовых частиц, камней и остатков подстилки).

Паводки на водосборе площадью 12 га наблюдались более продолжительными во времени (60–144 часа зимой и 14–96 часов летом) и более распластаны – максимальные модули стока в 3 раза меньше, чем на водосборе 8 га. Средний коэффициент стока за паводок (по данным 40 паводков) составляет 3.8% при $C_v = 1.3$, $C_s = 4.7$ и $E = 24.6$. Наибольшая интенсивность стока в среднем равна 0.006 мм/мин при варьировании этого показателя $C_v = 2.3$, асимметрии $C_s = 5.5$ и эксцессе $E = 30.0$. Максимальный коэффициент стока (32.2%), наблюдался 14–18.VI.1966 г.; максимум интенсивности стока – 0.080 мм/мин. Измеренная в этот паводок мутность воды в ручье составила всего 27.3 г/м³.

В среднем максимальные годовые модули стока на малых водосборах в зоне буковых лесов невелики – от 1.1 до 19.3 л/с с га, а усредненные их

значения под пологом нетронутого рубками леса равны 3.9...7.2 л/с с га. Коэффициенты паводкового стока не превышают 10% для зимних паводков, и 5...7% – для летних. Наиболее интенсивные ливни дают паводки с коэффициентами стока до 25%. Средние за период наблюдений коэффициенты паводкового стока на малых бассейнах составляют: за зимний период – 2.3–8.4%, за летний – 0.8–4.8%, при этом одинаковые осадки за паводок (в среднем 71–81 мм) дают зимой паводки больше в 1.8 раза, чем летом. Максимальная наблюдаемая интенсивность стока – 0.08 мм/мин.

Для расчета коэффициентов паводкового склонового стока на малых бассейнах в зоне буковых лесов разработаны эмпирические зависимости, учитывающие предварительное увлажнение бассейна и график паводкообразующего дождя. Следует учесть, что в условиях легко проницаемых с поверхности лесных почв преобладающее влияние на склоновый сток имеет форма графика дождя, которая в естественных условиях может быть самой различной, и учесть ее в прогностических расчетных зависимостях очень трудно.

Изучение склонового стока по экспедиционным данным. Метод экспериментального исследования стока путем искусственного дождевания позволил в короткие сроки получить очень большой материал о склоновом стоке, подвергнув при этом исследованию отдельные элементы поверхности бассейнов, однородные по растительности, почвам, рельефу, хозяйственному использованию. Этим был восполнен пробел в информации о паводках, возникающий при использовании для целей гидрологических разработок только материалов стационарных наблюдений. Особенно велика роль эксперимента в оценке влияния хозяйственной деятельности на сток, что необходимо как для расчета сооружений, так и для планирования системы мероприятий по охране и использованию водных ресурсов.

На Черноморском побережье Кавказа (РФ) прибрежная часть представляет собой узкую полосу предгорий шириной до 6–10 км с высотами до 400 м. Наиболее распространены здесь низкие горы, холмистые и увалистые возвышенности с относительно мягкими и сглаженными формами рельефа. Для этой части характерным является длительное хозяйственное воздействие состоящее в вырубках, и раскорчевках лесов с целью использования освобождаемых от леса территорий под застройки, сады, плантации, и т.д. Это негативно сказывается на гидрологическом режиме территории.

Экспериментально доказано, что для исследования закономерностей пространственного распределения и повторяемости во времени гидрологических характеристик и выявления их эмпирических связей с определяющими факторами необходимо применение статистических методов. Его использование основано на том, что характеристики гидрологического режима (характерные расходы и уровни воды, годовые и

сезонные объемы стока, пульсации скоростей течения воды в русле, изменение высот снежного покрова по площади и т.д.) представляют собой последовательность случайных величин. Изучение статистических закономерностей гидрологических характеристик осуществлялось на основании теории случайных событий и теории вероятностных (случайных) процессов.

Ниже изложены результаты экспедиционных исследований в Черкесском округе Колхидской провинции, приморском и среднегорном лесорастительных районах (преобладание дубово-грабовых, каштановых и буково-грабовых лесов). Для проведения экспериментов были выбраны наиболее характерные участки различных видов угодий. Контролем служили покрытые лесом территории. На участках ставились опыты с искусственным дождеванием элементарных водосборов (до 300 м²), а также выполнялась инфильтрационная съемка склонов при помощи простейших кольцевых инфильтрометров площадью 0,1 м² (А.Н.Бефани и др., 1968, 1970). Всего было проведено 16 опытов с искусственным дождеванием и 95 опытов с инфильтрометрами.

По результатам изучения гидрологической роли лесов прибрежной части Черноморского побережья Кавказа (РФ) можно отметить, что экспериментальные исследования впитывания, как одного из основных показателей водорегулирующей роли исследуемых площадей необходимо проводить с использованием статистических методов, что исходит из-за большого варьирования этого признака по площади. Установлено, что в приморской части Черноморского побережья Кавказа даже расстроенные лесные насаждения выполняют водорегулирующие функции в 17 раз лучше, чем площади, находящиеся в интенсивном хозяйственном использовании.

Экспедиционные и стационарные исследования склонового стока показали, что в лесной зоне поверхностный горизонт почвы, благодаря своим хорошим водно-физическим свойствам, выполняет роль дренажной системы, особенно отчетливо проявляющей себя во время интенсивных летних ливней. С одной стороны, он переводит значительную часть осадков в склоновый сток, препятствуя развитию эрозионных процессов на поверхности почвы, а с другой – способствует восполнению убыли влаги нижележащих слоев, являющихся достаточно емким резервуаром доступной влаги. Наиболее уязвимой в гидрологическом отношении частью горных водосборов является область формирования речного стока, т.е. верховья рек, приуроченные к высокогорьям. В связи с этим, в истоках рек должен соблюдаться строго ограниченный режим природопользования. В средней и нижней частях водосборов горных рек, как правило, находящихся в интенсивном хозяйственном обороте, ежегодный объем рубок главного и промежуточного пользования не должен превышать 1,5–2,0% от лесопокрытой площади водосбора).

Нами разработана вероятностная схема расчета максимальных расходов воды (а также суточных максимумов осадков) по кривым обеспеченности, с помощью которой устанавливается расчетное значение при нормативной вероятности ежегодного превышения. Исследования генезиса стока на склонах под буковыми насаждениями позволили разработать формулы для расчета коэффициентов паводочного стока (эмпирические зависимости, учитывающие предварительное увлажнение бассейна и график паводкообразующего дождя).

Максимальный сток на основных реках Сочинского Причерноморья.

Характеристика максимального стока важна как на уровне склонового стока, так и на уровне руслового стока рек. Первая фаза образования склонового стока тесно связана с плоскостной эрозией почвы на горных склонах, где основную защитную роль выполняет растительность, а также водно-физические свойства почв. В этом случае необходимо анализировать влияние хозяйственной деятельности на водосборах.

Сведения о максимальных расходах воды на реках региона приведены в Гидрологических ежегодниках за каждый год. Далее приведен анализ некоторых гидрометрических постов на реках Сочинского Причерноморья (р. Мзымта и р. Шахе). В таблице 3 приведены статистические характеристики максимального годового стока по этим рекам.

Ниже приведены хронологические графики максимальных и минимальных расходов воды, а также максимальных слоев стока за паводок на основных реках Сочинского Причерноморья, имеющих длительные ряды наблюдений за стоком (рис. 2–5). Наиболее длительный ряд наблюдений имеет гидрометрический пост на р. Сочи у с. Пластунка – более 80 лет. На хронологическом графике максимумов стока этой реки отчетливо прослеживается положительный тренд максимальных расходов воды – в среднем увеличении за период наблюдений на 54%.

Аналогичная картина прослеживается и на других реках Сочинского Причерноморья, имеющих меньший период наблюдений за стоком – р. Хоста у пос. Хоста (рис. 3), р. Шахе у с. Солох-Аул (рис. 4), а также на малой реке Куапсе у с. Мамедова Щель (рис. 5). Следовательно, можно считать, что увеличение максимальных годовых расходов воды прослеживается для всех рек региона. При этом малые реки побережья отличаются более интенсивным ростом максимумов стока – р. Куапсе – 55% за 34 года наблюдений.

В связи с усиливающейся антропогенной нагрузкой на водосборах горных рек региона в последние годы участились случаи катастрофических ситуаций, связанных с прохождением максимальных расходов воды на реках Сочинского Причерноморья. При этом важна оценка повторяемости максимального стока рек.

Таблица 3.

Статистические характеристики максимальных расходов воды за гидрологические годы на реках Сочинского Причерноморья

Норма максим. расходов $\text{м}^3/\text{с}$	Модульные коэффициенты максимумов, обеспеченных на P %							Коэффициенты	
	3.0	5.0	10.0	50.0	90.0	95.5	97.0	вариации C_v %	асимметрии C_s %
1. р. Мзымта – пос. Красная Поляна ($F= 510 \text{ км}^2$)									
175	1.8	1.7	1.6	0.9	0.7	0.6	0.6	32.7	36.7
2. р. Мзымта – пос. Кени ($F= 798 \text{ км}^2$)									
272	2.4	1.9	1.5	0.9	0.6	0.5	0.5	45.6	74.2
3. р. Шахе – с. Солох-Аул $F= (423 \text{ км}^2)$									
268	1.7	1.6	1.3	0.9	0.6	0.6	0.6	44.6	177.3

Для вероятностного описания и расчета метеорологических и гидрологических величин, которым свойственна повышенная асимметрия (максимальный сток, осадки, дождевые паводки), нередко применяется логарифмически нормальное статистическое распределение (Шелутко, 1991). Определение значений характеристик гидрологического режима редкой повторяемости производится на основе одного из законов распределения и созданной на его основе теоретической кривой обеспеченности.

Эмпирическая кривая обеспеченности – это кривая, которая характеризует вероятность достижения или превышения гидрологической величины (вероятность того, что будет превышено заданное значение). На графике обеспеченность обозначается точкой с координатами (p_i, x_i) , где p_i – эмпирическая обеспеченность, вычисляемая для каждого i -того значения переменной в зависимости от ее порядкового номера t в ряду, отсортированном по убыванию, и длины ряда n (рис. б).

В зависимости от характера гидрологической переменной для вычисления обеспеченностей используются различные формулы. Выразить обеспеченности можно как в долях единицы, так и в процентах. Ниже приводятся несколько формул для расчета обеспеченностей:

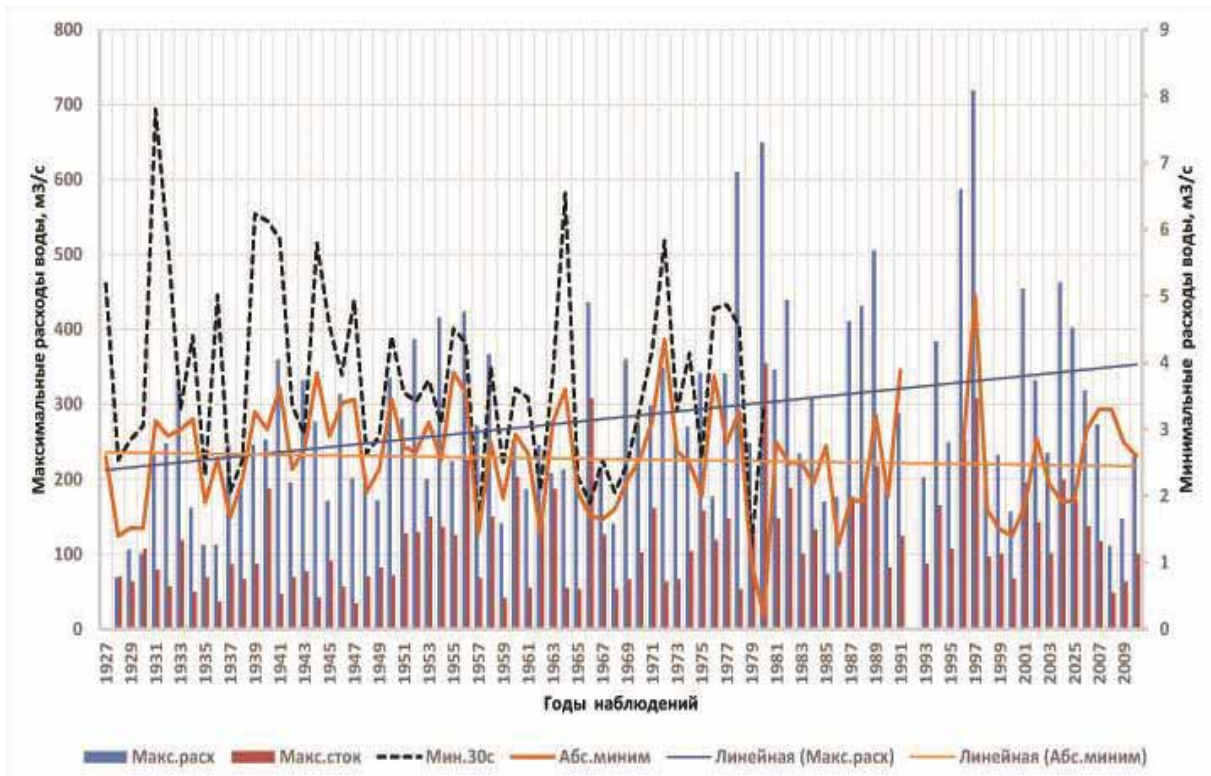


Рисунок 2 – Хронологический график максимальных и минимальных расходов воды, а также максимальных слоев стока за паводок на р. Сочи у с. Пластунка

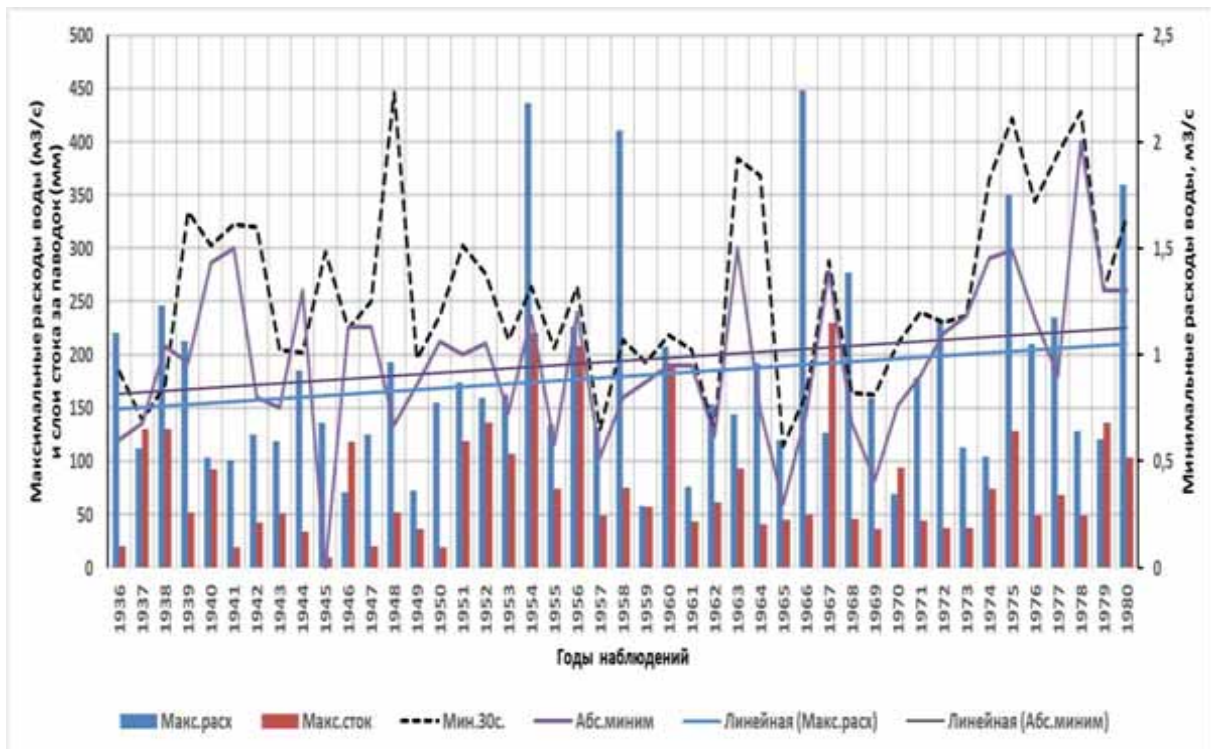


Рисунок 3 – Хронологический график максимальных и минимальных расходов воды, а также максимальных слоев стока за паводок на р. Хоста у пос. Хоста

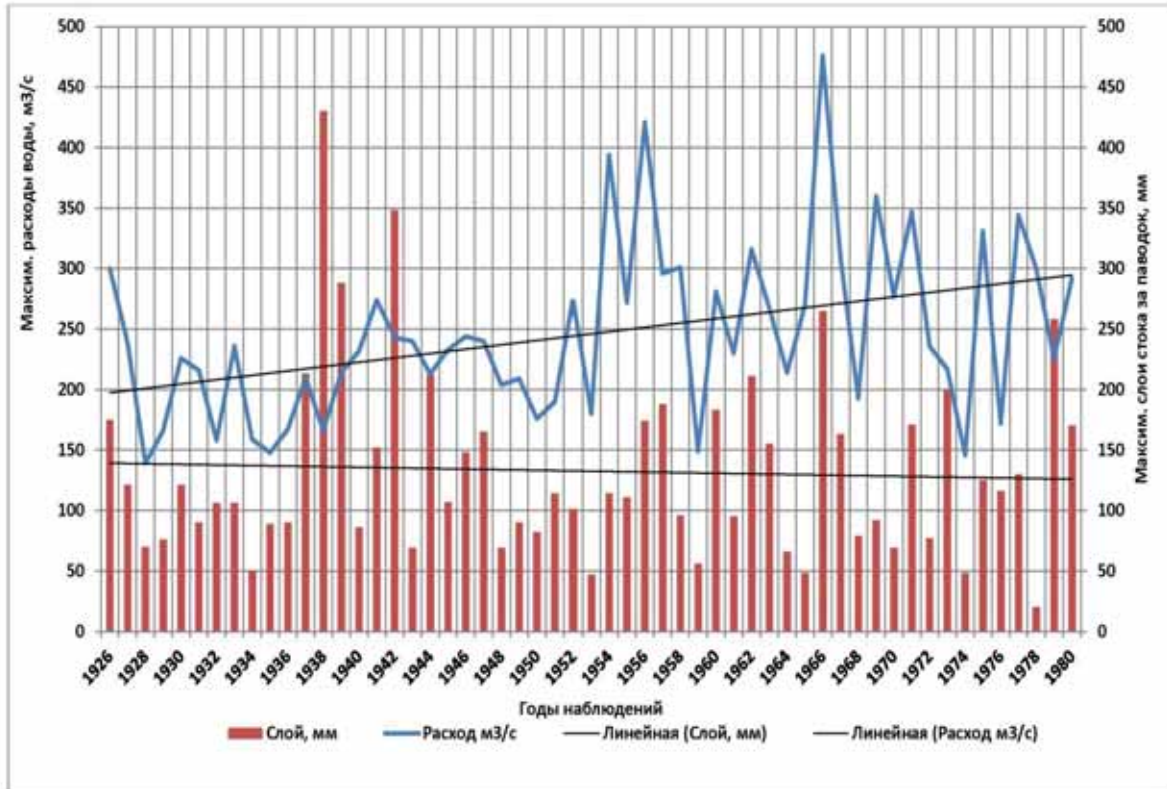


Рисунок 4 – Хронологический график максимальных расходов воды, а также максимальных слоев стока за паводок на р. Шахе у с. Солох-Аул

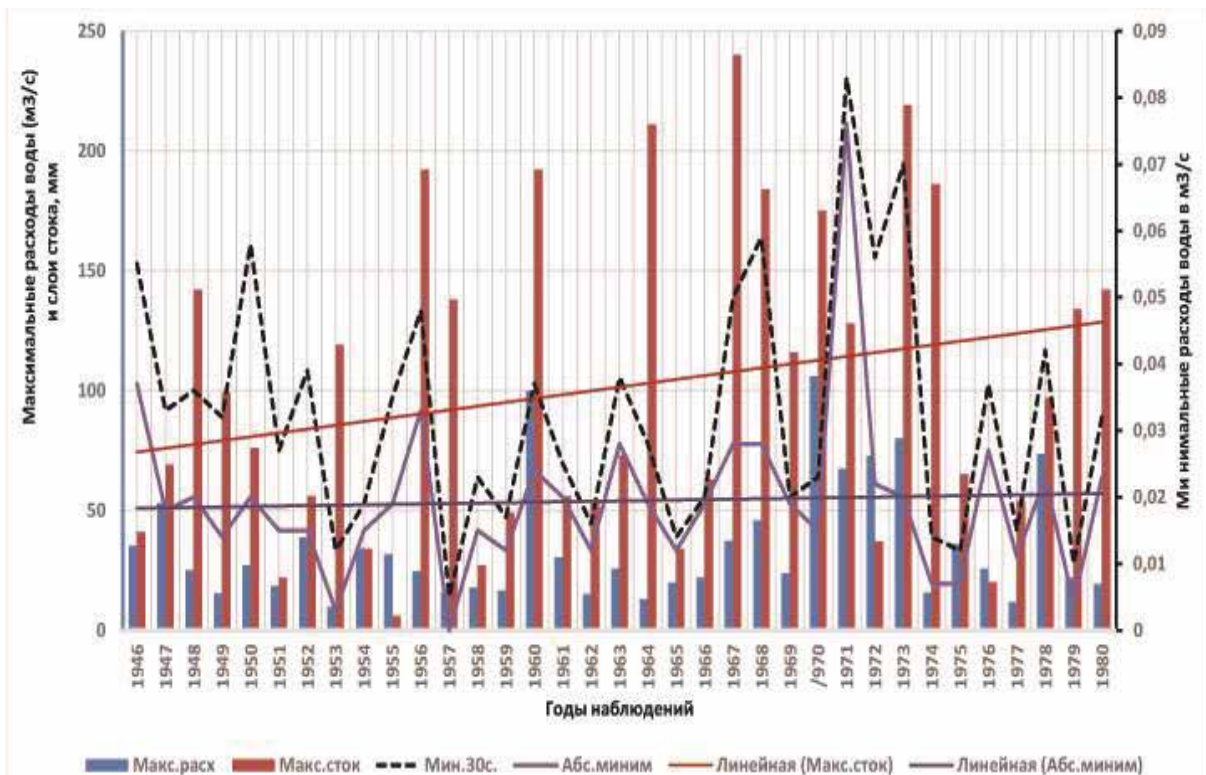


Рисунок 5 – Хронологический график максимальных и минимальных расходов воды, а также максимальных слоев стока за паводок на р. Куапсе у с. Мамедова Щель

1. Формула Алексеева $p = (m - 0.25) / (n + 0.5) * 100\%$;
2. Формула Чегодаева $p = (m - 0.3) / (n + 0.4) * 100\%$;
3. Формула Крицкого-Менкеля $p = m / (n + 1) * 100\%$;
4. Формула Гумбеля $p = (m - 0.5) / n * 100\%$;
5. Формула Гаусса $p = m / n * 100\%$.

Для расчета максимального стока (и наивысших уровней) при проектировании ответственных сооружений наиболее широко используется формула Крицкого-Менкеля, потому что она создает некоторый запас надежности в оценке значений переменной малой расчетной обеспеченности (1%). Формула Гумбеля, напротив, существенно занижает характеристики малых расчетных обеспеченностей и завышает значения больших, близких к 100%, поэтому ее рекомендуют применять для расчета эмпирической кривой обеспеченности минимальных расходов (или уровни летней, зимней межени). Кривая Гумбеля широко применяется в гидрологических расчетах в США, Англии и ряде других стран.

Нами для расчетов применена формула Чегодаева (2), по которой были получены кривые распределения максимальных расходов воды ($\text{м}^3/\text{с}$), а также максимальных слоев стока за паводок (мм).

Для имеющихся однородных рядов наблюдений экстремальной характеристики гидрологического режима (максимальные расходы дождевых паводков на реках Сочинского Причерноморья) подобраны теоретические кривые обеспеченности. Построены графики эмпирической и теоретической кривой обеспеченности на обычной клетчатке, хотя в гидрологической практике обычно используется специальная клетчатка вероятностей для нормального и логнормального распределений с помощью графических средств пакета Statistica.

На рисунке 6 показана эмпирическая кривая обеспеченности для гидрометрического поста р.Шахе у с. Солох-Аул, полученная путем анализа максимальных расходов воды по наблюдениям в течение 55 лет (с 1926 по 1980 гг.). Анализ показал, что средний максимальный годовой расход воды составил $246.0 \text{ м}^3/\text{с}$, а средний слой воды за максимальный паводок – 132.6 мм . При этом норма расхода воды составляет $27.9 \text{ м}^3/\text{с}$, а наибольший из годовых $65.9 \text{ м}^3/\text{с}$. (рис. 6).

На рисунке 8 приведена эмпирическая кривая обеспеченности максимальных расходов воды и слоев стока за паводок на р.Хоста у пос. Хоста, а на рисунке 9 – аналогичная кривая для малой реки Куапсе у с. Мамедова Щель.

На наш взгляд, формирование катастрофических речных паводков начинается на уровне элементарных водосборов, где коэффициент максимального стока определяется состоянием поверхности водосбора. По наблюдениям в дубравной зоне, где коэффициенты паводочного стока очень велики (могут приближаться к 1), имеются реальные условия катастрофических явлений. Так, на примере одного из катастрофического

паводка в бассейне реки Туапсе показаны расчеты максимальных расходов воды, достигших 1624 м³/с, что превышает средний многолетний расход воды (12.7 м³/с) в 128 раз (табл. 2).

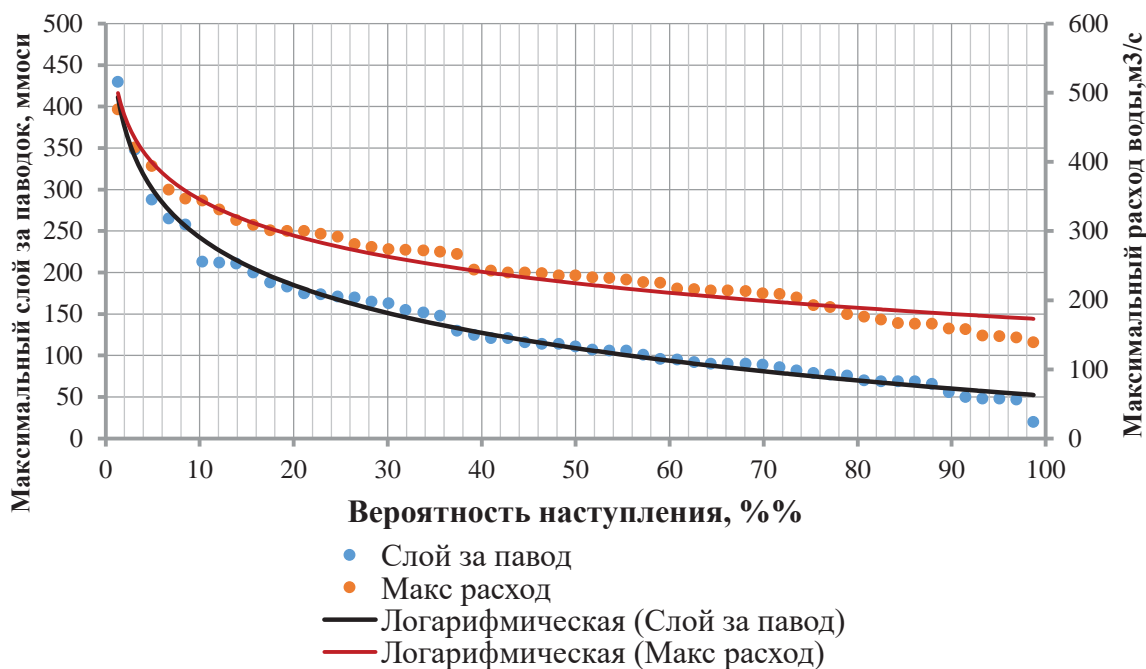


Рисунок 6 – Эмпирическая кривая обеспеченности максимальных расходов воды и слоев стока за паводок на р. Шахе у с. Солох-Аул

На рисунке 7 показана эмпирическая кривая обеспеченности максимальных годовых расходов воды на водомерном посту р.Сочи у с. Пластунка.

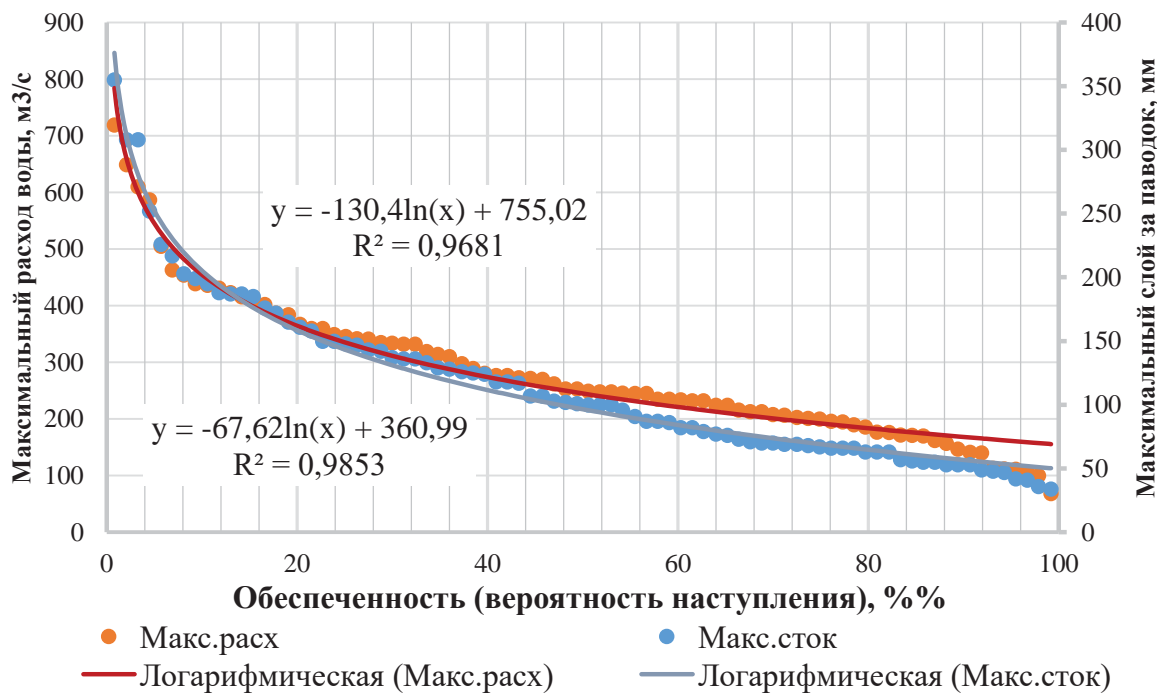


Рисунок 7 – Эмпирическая кривая обеспеченности максимальных расходов воды и слоев стока за паводок на р. Сочи у с. Пластунка

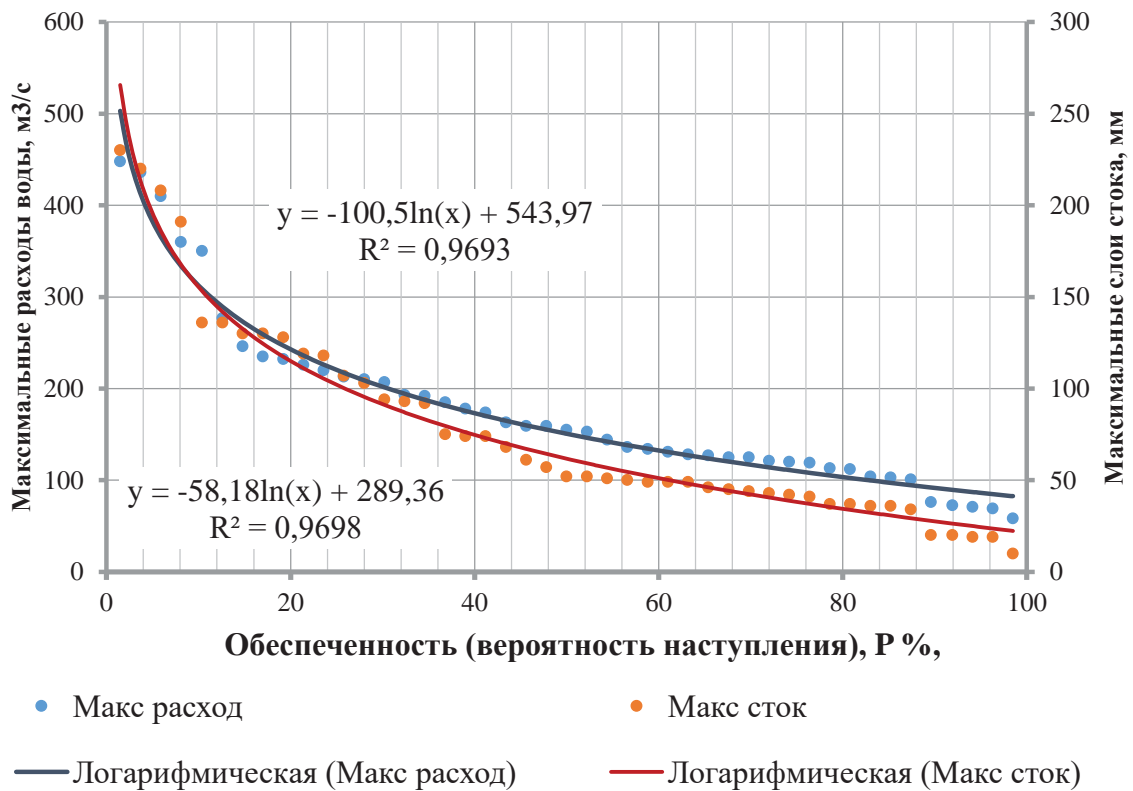


Рисунок 8 – Эмпирическая кривая обеспеченности максимальных расходов воды и слоев стока за паводок на р. Хоста у пос. Хоста

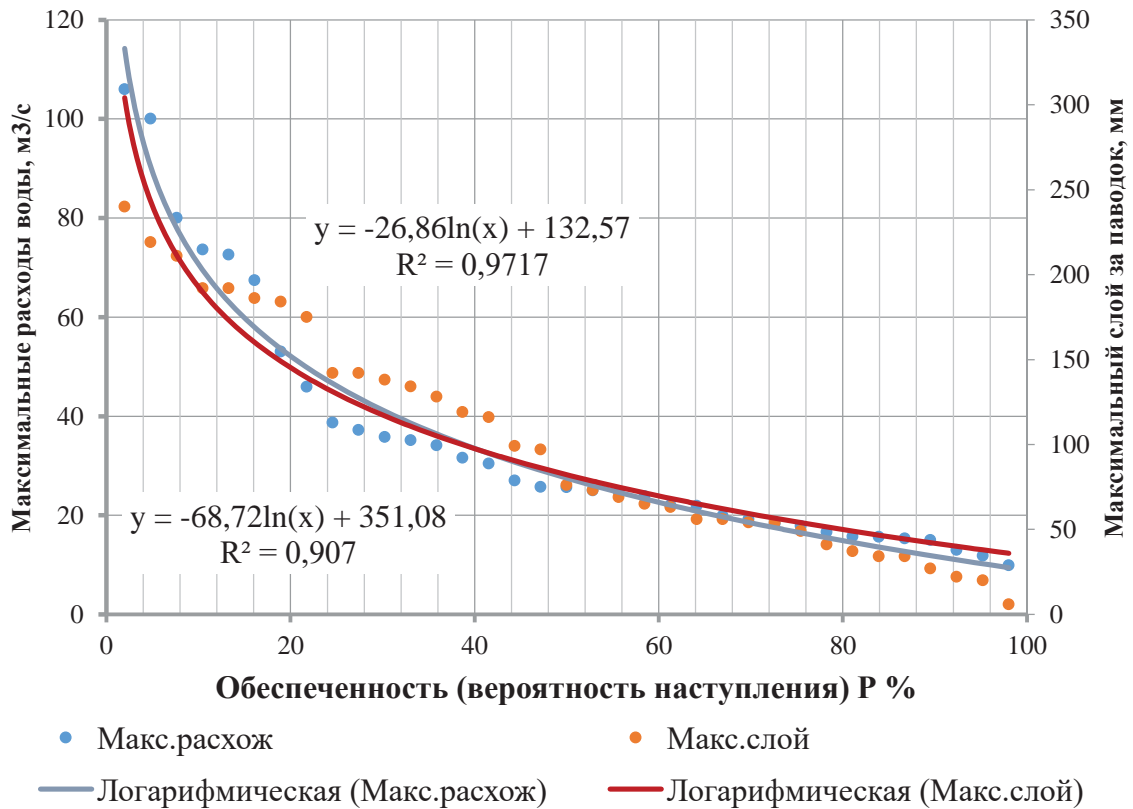


Рисунок 9 – Эмпирическая кривая обеспеченности максимальных расходов воды и слоев стока за паводок на р. Куапсе у с. Мамедова Щель

По опубликованным данным (Матишов и др., 2017) приведен анализ паводков, возникших при катастрофическом ливне 25 июня 2015 г. на территории городского округа Сочи. Всего в районе г. Сочи установлено **48 автоматических постов** наблюдения за уровнем воды на реках, входящих в состав АС МПСКК, из них 25 июня 2015 г. на 6 постах наблюдалось достижение отметок «опасное явление» (ОЯ).

Наиболее высокие уровни воды зафиксированы на четырех гидрометрических постах. На остальных постах фиксировался уровень подъема воды, который был ниже отметок «неблагоприятное явление» (НЯ) [<http://vywww.emercit.com/map>]. Как отмечают авторы этой работы, анализ темпов подъема воды на всех реках, впадающих в Черное море в районе Адлера, показывает, что скачок уровня на 3–4 м происходит менее чем за 1,5 часа. Масштаб такого опасного явления быстро смоделировать только по записям уровнемеров на мостах невозможно, прогнозы пока не дают реальную гидрометеорологическую картину стихии.

Заключение. В связи с участившимися в регионе катастрофическими паводками оценка максимального стока на реках Сочинского Причерноморья является важной задачей. При хозяйственном освоении территории необходима разработка современных проектных придержек, учитывающих рост максимального стока, связанный как с изменением климатических условий в регионе, так и состояния поверхности водосборов рек.

В современных условиях критическими могут быть не только катастрофические паводки, но минимальный сток рек, оказывающий влияние на водообеспечение развивающегося региона. Здесь также решающими могут быть условия хозяйственного использования территории основных рек региона.

Список использованных источников

Анисимов В.И., Битюков Н.А. Физическая география города-курорта Сочи. Монография. Сочи, СГУТиКД, 2008. 291 с.

Алексеевский Н.И., Лебедева М.Ю., Соколовский Д.К. Источники питания и изменчивость их вклада в формирование стока рек европейской территории России // Водные ресурсы, т.34, №1. 2007. 517 с.

Алексеевский Н.И., Магрицкий Д.В., Колтерманн П.К., Торопов П.А., Школьный Д.И., Белякова П.А. Наводнения на Черноморском побережье Краснодарского края // Водные ресурсы, Т. 43, № 1, 2016. С. 3–17.

Бефани А.Н. Основы теории ливневого стока // Тр. Одесского гидрометинститута. Вып.14. Л.: Гидрометеиздат. 1958. 310 с.

Битюков Н.А. Влияние буковых насаждений на дождевые осадки // Тр. Сочинской НИЛОС. Вып.6. Сочи. 1971. С. 33–40.

Битюков Н.А. Речной сток в условиях Черноморского побережья Кавказ // Докл. Соч. отд. Геогр. общ-ва при АН СССР. Вып.2, 1971. С. 184–189.

Битюков Н.А. Водный баланс водосборов в связи с рубками в буковых лесах Северного Кавказа // Лесоведение, 3. 1988. С. 56–65.

Битюков Н.А. Гидрологическая роль горных лесов Северо-Западного Кавказа // Лесоведение, № 4. 1996. С. 39–50.

Битюков Н.А. Экология горных лесов Причерноморья. Сочи: ФГУ НИИГорлесэкол. 2007. 397 с.

Битюков Н.А. Мониторинг экосистем буковых лесов Сочинского Причерноморья // Научные труды Сочинского Национального Парка, Вып.5. 2013. 391 с.

Битюков Н.А. Гидрологический режим территории Сочинского Причерноморья // European Geographical Studies, 2018, 5(1). С. 3–20.

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.

Битюков Н.А. Пестерева Н.М., Ткаченко Ю.Ю. Анализ режима увлажнения за многолетний период в бассейне реки Мзымты // Вестник СГУТиКД: № 3 (17) 2011. С. 243–255.

Битюков Н.А., Шагаров Л.М. Мониторинг атмосферных осадков в буковых лесах Черноморского побережья Кавказа // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. №1. 2013 С. 67–71.

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.

Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Москва, Метеоагентство Росгидромета. 2005.

ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов. 1974. 26 с.

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

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

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

Магрицкий Д.В., Самохин М.А., Юмина Н.М. Наводнения в Краснодарском крае и республике Адыгея // Отраслевые научные и прикладные исследования. Науки о земле. М. 2016. С. 44–63.

Мандыч А.Ф. Наводнения: ущербы и защита // Известия РАН. Серия географическая. № 2. 2003. С. 26–35.

Мельникова Т.Н. Географические особенности водного режима рек Северо-западного Кавказа. // Международный журнал экспериментального образования №6, Адыгейский гос. ун-тет, Майкоп. 2012. С. 22–24

Мельникова Т.Н. Практикум по гидрологии: учебно-методическое пособие. Майкоп: Изд-во АГУ. 2012 152 с.

Мельникова Т.Н., Комлев А.М. Водоносность рек Северо-западного Кавказа. Майкоп.: «Качество». 2003. 130 с.

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

Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Том 8, Северный Кавказ. Л.: Гидрометиздат. 1975.

Христофоров А.В., Юмина Н.М. Стохастическая модель колебаний паводочного стока рек Северного Кавказа // Водное хозяйство России. Проблемы, технологии, управление. Т.7. № 4. 2005. С. 359–377.

Юмина Н.М. Паводочный сток рек Северного Кавказа // Вестник МГУ. Сер.5. География. №2. 2008. С. 51–56.