

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 630*116.1:630*

О ВЛИЯНИИ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НА ВЕЛИЧИНУ МАКСИМАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ СТОКА ВОДЫ ГОРНЫХ РЕК КАВКАЗА

© 2012 г. А. П. Казанкин

Кавказское горное общество

357524 Пятигорск, ул. Московская, 94, корп.2

Поступила в редакцию 07.06. 2011 г.

Анализируются факторы, оказывающие влияние на формирование стока: растительность, лесная подстилка, почва и горная порода. Рассматривается возникновение паводков на лесных почвах, подстилаемых плотными, трещиноватыми и дезинтегрированными горными породами, а также воздействие карста на сток в условиях субальпийских лугов. Приводится зависимость максимального модуля стока рек Кавказа от лесистости и площади водосборов. Интерпретируются некоторые материалы об изменении гидрологического режима водотоков на малых водосборах в связи с рубками древостоев.

Ключевые слова: горные реки, максимальные, модули стока, растительность, почва, горные породы.

Среднемноголетний ущерб от наводнений в России составляет более 40 млрд. руб в год [31]. Одним из главных факторов учащения наводнений в мире (в том числе и разрушительных) А.Б. Авакян и М.Н. Истомина считают уничтожение лесов и другие виды деятельности человека, обусловленные ростом численности населения [1]. Д.Я. Раткович и Л.Д. Раткович отмечают, что во многих регионах в результате сплошных рубок древостоев подорван ресурсный, природо- и водоохраный потенциал леса [33]. Агротехнические и агролесомелиоративные мероприятия, по Н.И. Коронкевичу, существенно влияют на условия формирования стока на водосборах, которые наиболее ярко проявляются в период половодья [26]. Однако по результатам изучения влияния лесов на максимальный сток паводков в 28 речных водосборах с различными климатическими и геологическими условиями и типами леса в Европе сделаны выводы о незначительной роли леса при формировании максимальных расходов воды [38]. Такие выводы могут стимулировать пересмотр и отмену ряда ограничительных и запретных мер природопользования на особо охраняемых территориях, в том числе и в бассейнах горных рек. Такая тенденция уже проявляется в горных районах юга России.

На Кавказе в течение длительного периода проводится изучение гидрологических функций горных лесов. Результаты исследований опубликованы в [6, 7, 22–25, 36]. Установлено [36], что максимальные модули стока воды (ММС) на реках с лесистостью водосборов 70% в 5–10 раз меньше по сравнению с реками, бассейны которых залесены на 30%. По данным других авторов

[24] ливни 5%-ой обеспеченности (по количеству осадков) не могут быть зарегулированы буковым лесом, а на полностью залесенных водосборах (площадью до 0.2 км²) ММС достигают 1.93 м³/(с км²). Однако, в горных условиях Кавказа на реках с водосборами более 14 км² и покрытых лесом ММС могут превышать 7 м³/(с км²), а при лесистости водосбора 70% он нередко выше, чем при 30%. Наличие отмеченных противоречий и учащение разрушительных паводков за последние десятилетия обуславливает необходимость анализа гидрологической информации в целях выявления факторов, наиболее существенно влияющих на величину максимальных модулей стока воды горных рек Кавказа. Это позволит более объективно решать вопросы природопользования и охраны природы в этом регионе.

Поставленная цель реализуется путем выполнения ряда задач: выявить особенности поступления ливневых осадков на поверхность почвы в листовенном лесу, уточнить значимость некоторых факторов в формировании максимального модуля стока воды (задержание атмосферных осадков наземной частью растительности, лесной подстилкой, почвой и роль подстилающих горных пород), установить наличие зависимости максимальных модулей стока воды от лесистости бассейнов (и других факторов) горных рек Кавказа, интерпретировать данные по влиянию рубок древостоев на паводочный коэффициент стока в условиях экспериментальных водосборов.

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве исходных материалов послужили данные наблюдений по рекам Терек, Кума, Кубань, а также рекам Черноморского побережья Кавказа на гидрологических постах [28], опубликованные в [15] результаты других исследователей, а также наблюдения автора за последствиями разрушительных паводков в бассейне реки Березовой, в окрестности г. Нальчика и результаты опытов по искусственному дождеванию на стоковых площадках (50 м²).

Исходные материалы подвергнуты анализу в целях выявления закономерных связей гидрологических и ландшафтно-морфометрических характеристик с использованием статистических компьютерных программ. Для сопряженного анализа использованы площадь, лесистость, средние высота и уклон водосбора, средний уклон реки.

В бассейнах горных рек в поясе субальпийских лугов учитывались поверхностные карстовые образования.

В целях выявления факторов, наиболее существенно влияющих на формирование паводков, из 90 рек Кавказа подобраны 15, которые отличаются наивысшими модулями стока за весь период наблюдений (до 1980 г.). Принятым величинам лесистости водосборов соответствуют различные площади бассейнов, или одинаковые (близкие) по площади бассейны имеют разную лесистость. Анализировались максимальные модули стока воды сопряженно с площадью, лесистостью водосборов и средним уклоном рек.

Достоверность уравнения определялась с помощью индекса корреляции R [35]:

$$R = \sqrt{\frac{\sigma_y^2 - \sigma_{y-ux}^2}{\sigma_y^2}}, \quad (1)$$

где σ_y^2 — общая дисперсия, измеряющая отклонения y от его средней величины, σ_{y-ux}^2 — дисперсия, измеряющая отклонения y от u_x (u_x вычисляется по уравнению для каждого значения y). Уравнение считается приемлемым при $R > 0.95$.

На экспериментальных водосборах с рубками древостоев и без них коэффициенты паводочного стока приняты в качестве индикаторов, отображающих изменения условий для возникновения максимальных модулей стока воды.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ РОЛИ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА

Особенности поступления ливневых осадков на почву в лиственном лесу

Известно, что на возникновение максимальных дождевых паводков прежде всего влияет количество выпадающих атмосферных осадков и их интенсивность. Последняя в условиях Большого Кавказа может достигать 5–9 мм/мин, а высота слоя дождей 195 мм за 4 ч не является исключением [21].

При интенсивных ливнях поступление воды на почву в лиственном лесу имеет некоторую специфику. Так, в мае 1963 г. в окрестности г. Нальчика ливневая вода проникала через полог сомкнутого спелого буково-грабового древостоя в виде многочисленных струй, которые углубились в почву на 5–6 см. На участках без густого подроста, подлеска и травяного покрова лесная подстилка оказалась вовсе смытой. По потяжинам на расстоянии 50–60 м от водораздельной линии возникли промоины глубиной до 1.5 м. В днище суходола сформировался водоток, который при подходе к поселку заполнил русло прямоугольной формы высотой 3 м и шириной 4 м. На своем пути он вырвал с корнем заросли кустарника (лещины) высотой 4–6 м, разрушил и повредил несколько одноэтажных жилых домов. Масса деревьев лещины создавала запруды, которые прорываясь усиливали разрушительную силу потока. Наоборот, на участках склонов, покрытых лещиной, дождевые углубления в почве и следы поверхностного смыва не замечены. Это можно объяснить рассредоточением ливневой воды по многочисленным стволикам кустарника и высокой водопроницаемостью почвы, характерной для густых древостоев [24, 29]. Поверхностный сток на тяжелой почве в спелом грабово-буковом древостое без подроста и подлеска, где почва покрыта только лесной подстилкой, наблюдался автором в бассейне р. Черек Балкарский (табл. 1, площадка 7).

Влияние характера подстилающей поверхности, почв и горных пород на формирование максимального стока

К факторам, снижающим слой дождевого стока, относят задержание атмосферных осадков наземными частями растений. При выпадении дождя разовый перехват осадков в хвойных насаждениях (ель, пихта) варьирует в пределах 2–4 мм (иногда 6–8 мм), лиственных (бук, береза, осина) 1–3 мм, редко достигая 4–5 мм [11]. В буковых лесах Северного Кавказа разовое задержание осадков составляет 2 мм [24]. Перехват осадков травянистой растительностью (культурные растения,

Таблица 1. Краткая характеристика стоковых площадок (50 м²) и результаты опытов при искусственном дождевании в древостоях, на вырубках и лугах

Номер площадки	Высота над уровнем моря, м	Экспозиция склона	Крутизна, градусы	Почво-подстилающая горная порода	Тип растительности	Осадки		Коэффициент поверхностного стока
						сумма, мм	интенсивность, мм/мин.	
1	1650	СЗ	28	Граниты	Ельник (140 лет)	90	2.25	0.0
2	1850	ЮЗ	32	»	Субальпийский луг	34	2.23	0.41
3	1850	СЗ	20	»	Окно вырубки	50	2.0	0.0
4	1770	С	29	»	Ельник с пихтой (80 лет)	39	1.56	0.21
5	750	СЗ	32	Глины, суглинки	Граб с буком и дубом (20 лет)	64	4.2	0.55
6	900	Ю	35	То же	Липняк (85 лет)	41	3.1	0.12
7	950	С	16	»	Грабняк (45 лет)	33	2.19	0.8
8	900	С	15	»	Открытый трелевочный волок	42	3.2	0.98
9	750	СЗ	25	»	Задернованный трелевочный волок	36	2.3	0.8
10	1650	С	35	Песчаники	Березняк с ивой (10 лет)	55	3.7	0.0
11	1600	С	20	»	Субальпийский луг	38	2.7	0.12
12	1400	ЮЗ	42	»	Сосняк (30 лет)	49	3.3	0.0
13	1400	ЮЗ	40	»	Сосняк с березой (35 лет)	43	2.83	0.0
14	1500	ЮЗ	32	»	Сосняк (120 лет)	95	3.81	0.0
15	1530	В	26	»	Луг	47	2.75	0.12
16	1100	СЗ	39	»	Вырубка	12	2.0	0.18
17	1050	СЗ	45	»	Грабняк (110 лет)	68	3.4	0.0
18	1050	ЮВ	44	»	Дуб с грабом (70 лет)	71	3.75	0.0
19	1850	С	28	Кристаллические сланцы	Сосняк (20 лет)	44	2.9	0.0
20	2100	ЮЗ	43	То же	Пастбище	41	2.7	0.92
21	2000	ЮЗ	40	»	Сосняк (80 лет)	130	4.3	0.0
22	1900	ЮВ	39	»	Сосняк (180 лет)	57	3.2	0.0
23	1900	Ю	37	»	Березняк (70 лет)	51	3.8	0.0
24	1200	СВ	38	Глинистые сланцы	Граб, липа, клен, черешня (20 лет)	45	3.0	0.0
25	1150	Ю	33	То же	Липняк (20 лет)	32	2.1	0.23
26	1000	ЮЗ	35	»	Вырубка	31	2.1	0.97

целинная степь, луг), по А.А. Роде [34], не намного меньше, чем в лесу.

Хорошим водоудерживающим свойством обладает лесная подстилка (ЛП). В естественных условиях после схода снега ЛП ельников (массой 21–47 т на 1 га) может удерживать влагу слоем 3.0–5.4 мм, в смешанных древостоях (13–48 т на 1 га) – 1.9–5.8 мм, в лиственных лесах (при массе 7.3–11.1 т на 1 га) – 1.0–1.2 мм [11]. В большинстве случаев влагоемкость ЛП варьирует в пределах 1–5 мм и находится в границах разового перехвата атмосферных осадков древостоями.

В гидрологии суши большое значение придается влагоемкости и водопроницаемости почвы [27]. В бассейнах горных рек Северного Кавказа водоудерживающая способность почвы (мощностью 0–70 см) снижается с увеличением крутизны склона и возрастанием высоты над уровнем моря [23]. Для формирования максимального стока практическое значение имеет диапазон активной влажности (ДАВ), который по [34] представляет собой разность между запасами наименьшей влагоемкости (НВ) и влажности завядания растений (ВЗ). В метровой толще почвы (в зависимости от механического состава) ДАВ изменяется в пределах 50–180 мм по [34] и до 250 мм по [11]. Установлено, что на горных склонах лесные почвы удерживали в 1.5–2 раза большую массу воды в конце дождя по сравнению с объемом стока за весь период его выпадения [5].

Реальный объем поглощения и удержания почвой атмосферных осадков в каждом отдельном случае (кроме водно-физических свойств) будет определяться интенсивностью суммарного испарения, которое зависит от погодных условий, а также характера и состояния растительного покрова. Если принять, что чаще других случаев капилляры почвы будут заполнены влагой на 50%, то метровая регулирующая емкость почв будет колебаться от 25 до 125 мм, т.е. это количество воды может поглотиться и удерживаться почвой без образования поверхностного и подземного стоков при сильных дождях.

На формирование паводков существенно влияет некапиллярная скважность почв (НС), которая в лесах представлена пустотами от сгнивших корней, а также другими полыми или заполненными рыхлым перегноем образованиями. Для лесов характерно естественное изреживание древостоев. С увеличением возраста отмирают тысячи и десятки тысяч деревьев и их корневых систем, а почвенная фауна образует многочисленные каналы, в результате чего образуется некапиллярная скважность лесных почв. В них естественные дренажи в основном располагаются вдоль склона и оканчиваются в руслах временных и постоянных водотоков или у подножия склонов [22]. Отме-

ченные особенности лесных почв обуславливают различную скорость почвенного стока на склонах.

В горных лесах Кавказа НС поверхностного слоя почвы варьирует от 8 до 14%, на сплошных вырубках от 4 до 6%, на альпийских лугах 3–6%, в зарослях рододендрона 17% [12]. Лесные почвы в большинстве случаев отличаются в 2–3 раза большей водопроницаемостью по сравнению с аналогичными почвами в поле и на луговых участках [10, 19, 22, 24].

Подстилаящая горная порода предопределяет мощность почв [16] и влияет на водопроницаемость больше, чем тип лесных насаждений или их возраст [37]. С этим положением согласуются результаты исследований автора, которые показали, что в заповедных условиях (верховье р. Теберда) почва на гранитах в ельнике с подростом и зеленомоховым покровом исключила сток при осадках (90 мм) интенсивностью более 2 мм/мин, а вблизи на субальпийском лугу при меньшем слое дождя (34 мм) поверхностный сток составил 41% (табл. 1). В окне двухлетней вырубке с сохранившейся лесной подстилкой и заросшей малиной почвой сток не возник при осадках 50 мм интенсивностью 2 мм/мин (верховье р. Кубани). В елово-пихтовом насаждении с мертвым покровом на маломощной почве и наличием обнаженных скелетных корней деревьев сток составил 21% от суммы осадков 39 мм (площадка 4).

На горно-лесных почвах, подстилаемых глинами и суглинками, в широколиственных насаждениях различного состава при дождях 33–64 мм интенсивностью 2.19–4.2 мм/мин поверхностный сток варьировал от 12 до 80%. На открытых и задернованных трелевочных волоках 98–80% осадков соответственно стекает по поверхности нарушенной почвы (площадки 8, 9).

В лесных насаждениях, произрастающих на почвах, сформированных на песчаниках, при осадках 38–95 мм интенсивностью 2.83–3.81 мм/мин сток не образовался (площадки 10, 12, 13, 14, 17, 19). На вырубке при дожде 12 мм интенсивностью 2 мм/мин сток оказался равным 18%. В районах распространения песчаников горно-луговые почвы, покрытые субальпийскими лугами не полностью исключали сток при осадках 38 и 47 мм (интенсивностью 2.7 и 2.75 мм/мин), 12% которых стекали по поверхности.

Сосновые и березовые насаждения в условиях почв, развитых на кристаллических сланцах, исключали сток при осадках 44–130 мм интенсивностью 2.7–4.3 мм/мин (площадки 18, 21–23), а на послелесном субальпийском лугу (используемом в качестве пастбища) при дожде 41 мм интенсивностью 2.7 мм/мин поверхностный сток составил 92% (площадка 20).

На глинистых сланцах в смешанных насаждениях с подростом, подлеском и живым напочвен-

ным покровом дождь 45 мм интенсивностью 3.0 мм/мин не образовал поверхностного стока, а в древостое, в котором отсутствует лесная подстилка, обнажены мелкозем и дресва глинистых сланцев, при осадках 32 мм интенсивностью 2.1 мм/мин. поверхностный сток составил 23%, а на эродированной вырубке 97% (площадки 25 и 26).

Высокая водопроницаемость лесных почв далеко не всегда свидетельствует о потере стока при формировании паводка. Если верхний рыхлый слой почвы подстилается плотным горизонтом или водоупорной горной породой, то по корневинам и пустотам другого генезиса при осадках может возникать почвенный сток, скорость передвижения которого в 3–5 раз меньше, чем у поверхностного, достигающая 180–720 м/ч [4]. Наличие на водосборе почвогрунтов с различными характеристиками инфильтрации, влагоемкости, почвенного и грунтового стоков определяет разновременное поступление вод в русло реки, что способствует снижению высоты паводковой волны.

Максимальным паводкам предшествует такая дождливая погода, которая способствует заполнению водой всех свободных емкостей в почве. Поэтому важное значение имеет скорость фильтрации воды горными породами, которая варьирует в широком диапазоне (в целях сопоставления с интенсивностью ливней скорость фильтрации показана также в мм/мин). Наибольшей скоростью фильтрации, по [14], обладают галечники, крупнозернистые пески, массивные сильнотрещиноватые и пещеристые породы (>10 м в сут, или >6.94 мм/мин); пески, трещиноватые породы (10–1 м/сут или 6.94–0.69 мм/мин.); мергели, песчаники, супеси (1–0.01 м/сут, или 0.69–0.0069 мм/мин).

Преобладающая форма движения талой и дождевой воды в горной местности внутригрунтовое стекание [8]. Скорость движения ее в трещиноватых скальных грунтах и осыпях приближается к скорости ручейкового стока, который принимает участие в формировании паводка (половодья). В условиях горных водосборов с сильно трещиноватым и нарушенным покровом материнских пород и тонким слоем почвы нельзя провести четкую границу между подземным и поверхностным стоком [8]. Игнорирование этого положения приводит к ошибкам. В этом отношении показательные данные по вычленению склонового стока водотоков на двух экспериментальных водосборах, расположенных в районе междуречья Мзымта и Псоу [24]. На водосборе 4 площадью 19.9 га рубки древостоев не проводились, на водосборе 2 (11.7 га) после семилетнего калибровочного периода проведена рубка в три приема на площади 7.6 га. Однако, несмотря на различие водосборов по площади (в 1.7 раза), водоносности водотоков и состоянию древостоев, годовые значения склонового стока оказались одинаковыми в течение 6 лет до рубки

и 12 лет (не считая данных, отличающихся на 1 мм) в процессе и после рубки древостоя [24]). Кроме того, на водосборе 4 (без рубок) в течение 31 года грунтовый сток в среднем в 3 раза превышал склоновый. Однако в последующие 5 лет из 6, наоборот, склоновый сток в 1.4 раза стал превышать грунтовый. Причину такого изменения стока автор [7] не объясняет.

Из изложенного следует, что сильная инфильтрация воды почвами и горными породами при быстрой разгрузке подземных вод не может исключать формирование высоких паводков на горных реках. В то же время, когда почва и горная порода хорошо водопроницаемы, при наличии естественных подземных емкостей и медленной разгрузки грунтовых вод паводки не образуются, а осадки пополняют запасы подземных вод. Такое явление характерно для некоторых притоков р. Чегем на Северном Кавказе [27], а также для рек Армении и других регионов, водосборы которых сложены трещиноватыми лавами и другими пористыми породами [2]. В антиклинальных долинах с трещиноватыми горными породами сформированная некапиллярная пористость лесных почв обеспечивает перемещение гравитационной воды вглубь. В результате при ливнях почвенный сток поступает в трещины (и другого вида пустоты) пластов, внутри которых вода передвигается согласно их уклону [22, 23]. Если пластово-трещинные воды выклиниваются за границами водосбора, максимальный расход реки (водотока) уменьшается.

Разгрузка подземных вод в условиях их эксплуатации человеком увеличивает вместимость подземных резервуаров и при высокой водопроницаемости почв способствует уменьшению паводков при ливнях [32]. Известно, что карст оказывает существенное влияние на формирование паводков. Например, в районе Кавказских минеральных вод непрерывное выпадение осадков (151 мм) за 26 ч. 20–21 июня 2002 г. обусловило максимальные расходы и модули стока воды на реках Боргуста (площадь бассейна 160 км²) и Аликоновка (130 км²) соответственно 131 м³/с и 819 л/(с км²); 38.4 и 373 (по данным Кисловодской метеостанции и Пятигорской гидрологической станции). При паводке на р. Бугунте (Боргусте) подмывались в лесу деревья, которые затем увлекались потоком и увеличивали его разрушительную силу.

Для бассейна р. Аликоновка характерны задернованные трещиноватые доломитизированные известняки нижнего мела, а в песчано-глинистых породах развит отраженный карст в форме воронок просасывания, которые в значительной мере поглощали поверхностный сток. Южная половина водосбора р. Бугунта покрыта эродированными маломощными почвами, которые по гидро-



Рис.1. Водороины на пастбище и пашне, вызванные поверхностным стоком при ливне, в результате которого возник разрушительный паводок на реке Березовой.

геологическим данным подстилаются верхнемеловыми слабо трещиноватыми известняками и мергелями с незначительной циркуляцией вод. Северная (меньшая) часть бассейна представлена глинистыми породами палеогена. Поэтому при ливне на маломощных почвах основная масса дождевых вод расходуется на образование поверхностного стока и формирование паводка. В результате указанных выше различий максимальный модуль стока на р. Бугунте оказался в 2.2 раза выше, чем на р. Аликоновке.

Однако на возникновение паводков на реках с карстовыми образованиями существенное влияние оказывает интенсивность ливня. Например, на р. Березовой (смежной с р. Аликоновкой) 14 июня 1963 г. при кратковременном интенсивном ливне возник паводок, который разрушил прибрежные ветхие жилые постройки и отложил камни диаметром до 1 м на южной окраине г. Кисловодска. Поверхностный сток и эрозия почвы наблюдались на суглинистых распаханых землях, а также на склонах, покрытых субальпийскими лугами, используемыми в качестве пастбища (рис. 1). При интенсивных ливнях на водосборах, в которых водотоки впадают в карстовые воронки, последние не успевали переводить весь сток в

подземный и значительная часть воды стекала по ложбинам в р. Березовую.

Зависимость максимальных модулей стока воды от лесистости бассейнов (и других факторов) горных рек Кавказа

На возникновение максимальных модулей стока воды существенное влияние оказывает площадь водосбора, так как наиболее сильные ливни охватывают относительно небольшие территории с резким убыванием интенсивности по мере удаления от центра ливневых осадков, в результате чего модуль стока снижается с увеличением водосбора [9].

Низкие пики паводков наблюдаются в горных районах при лесистости 30–60% [30]. Считается, что в каждом горном речном бассейне размером 1500 га и более при рубках необходимо оставлять под лесом не менее 50% территории, а водосборы с меньшей площадью не должны вырубаться полностью [18]. Отмечая случаи уменьшения (в 5–10 раз) максимальных модулей стока воды рек с лесистостью бассейнов 70% по сравнению с реками, водосборы которых залесены на 30% [36], укажем на отсутствие данных по площади водосборов.

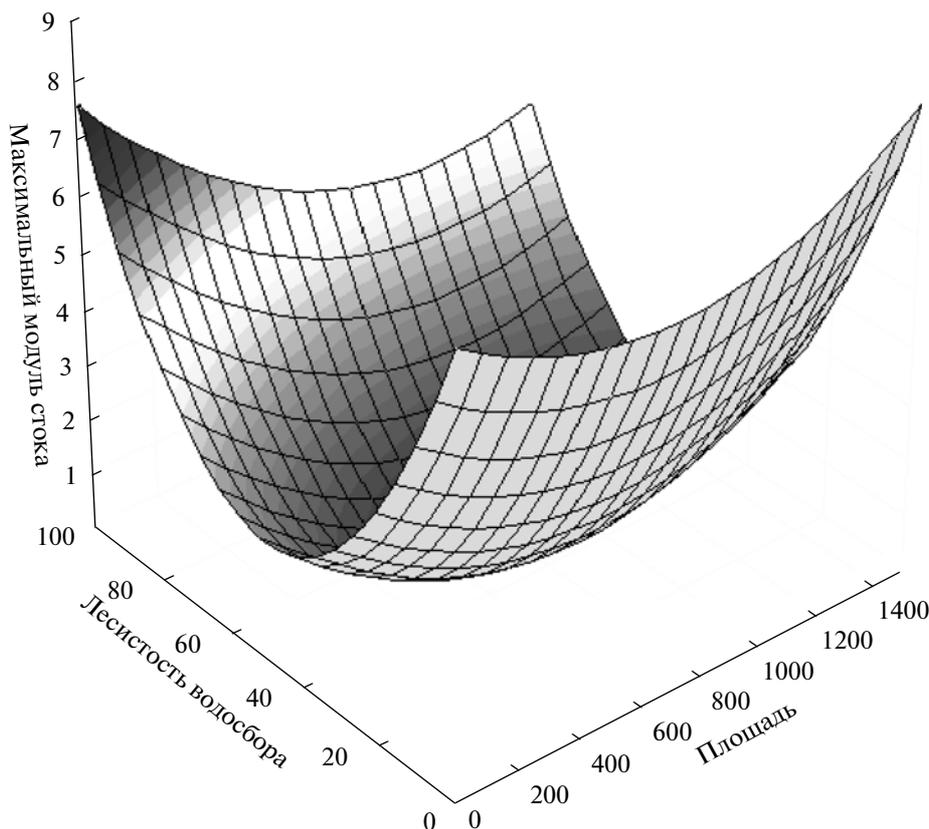


Рис. 2. Зависимость максимального модуля стока воды, $\text{м}^3/\text{с км}^2$; от совместного влияния лесистости, %; и площади водосбора, км^2 .

На реках Кавказа высокие паводки могут быть в любое время года [33]. На территории, расположенной между бассейнами рек Терек на востоке и Риони на западе, корреляционная связь максимальных модулей стока Mm , $\text{м}^3/\text{с км}^2$, 15 рек (табл. 2) и лесистостью водосборов X , %, оценивается корреляционным отношением η , равным 0.89 ± 0.125 , а связь Mm с площадью водосбора Y , км^2 , $\eta = 0.96 \pm 0.073$ (η определено по [13]). Mm коррелируется также со среднего уклона реки ($r = 0.713 \pm 0.202$). Зависимость максимального модуля стока от совместного воздействия лесистости и площади водосборов рек описывается полученным автором статьи уравнением

$$Mm = 8.0 - 0.2262X - 0.0038Y + 0.0022X^2 - 0.00002553XY + 0.000002776Y^2. \quad (2)$$

Индекс корреляции между эмпирическими и вычисленными значениями составляет 0.969 ± 0.068 . Связь максимального стока с лесистостью бассейнов выражается в виде вогнутой кривой (рис. 2), аналогичной по форме той, что получена И.В. Ивановым [17] при анализе соотношения наибольших расходов при таянии снега и лесистости бассейнов.

Для горных рек Кавказа наименьшие значения Mm наблюдаются при лесистости водосборов 50% (45–60). При таянии снега снижение паводков обуславливается в основном разновременностью этого процесса в лесу и на открытом пространстве. При ливнях на частично залесенных водосборах снижение Mm достигается различной скоростью передвижения воды по поверхности почвы на лугово-степных угодьях и почвенного стока в лесу.

Площадь водосбора — относительно стабильный фактор стока, а лесистость может подвергаться быстрым изменениям как за счет лесных пожаров, сплошных рубок, буреломов и др., так и за счет увеличения площади лесных насаждений путем естественного возобновления или создания лесных культур. Таким образом, уравнение указывает на достаточно надежную связь между компонентами в ландшафте и дает возможность оценить потенциальные изменения максимальных паводков в связи с увеличением или уменьшением лесистости водосборов. Учитывая, что за последние столетия значительно сократилась лесистость бассейнов горных рек, а в ближайшие 40 лет в результате интенсивных процессов эрозии на горных склонах почвы лишатся мелкозема

Таблица 2. Морфометрические и гидрологические характеристики некоторых рек Кавказа [15, 28]

Река—пункт	Площадь		Средние			Максимальные	
	водосбора, км ²	лесов, %	уклон, ‰		модуль стока воды, л/(с км ²)	расход воды, м ³ /с	модуль стока воды, м ³ /(с км ²)
			водосбора	реки			
Чхери—с. Казбеги	27.3	0	400	180	42.12	230	8.425
Гоначир—Заповедник	151	20	440	48.0	67.0	353	2.338
Дзирула—пос. Цева	1190	34	235	18.2	21.5	595	0.5
Маруха—с. Маруха	301	40	440	25.0	27.0	127	0.422
Чхалта—с. Чхалта	465	45	499	26.3	88.6	408	0.88
Уруп—ст-ца Удобная	1370	50		21.0	9.74	644	0.470
Техури—с. Накалакеви	558	53	296	38.4	55.8	525	0.941
Нальчик—с. Белая речка	140	55	330	79.0	15.8	169	1.207
Бзыбь—с. Джирхва	1410	64	419	25.6	91.1	1050	0.745
Адегой—ст-ца Шапсугская	125	65	260	22.0	16.3	266	2.128
Адерба—пос. Светлый	59.7	70			16.8	175	2.931
Пшиш—ст-ца Бжедужовская	1480	80		6.9	15.5	1330	0.9
Хоста—пос. Хоста	98.7	90	175	39.0	50.5	448	4.548
Вулан—с. Архипо-Осиповка	265	92	266	17.6	23.3	1050	3.962
Куапсе—пос. Мамедова щель	14.6	99	467	61.2	51.0	106	7.60

(доли площади всех горных территорий республик, %: в Дагестане 75, Кабардино-Балкарии 40, Северной Осетии 40, Чечне и Ингушетии 36 [20]), следует ожидать усиления паводков и учащения возникновения селевых потоков.

*Влияние рубок древостоев
на паводочный коэффициент стока
на экспериментальных водосборах*

При сплошных рубках после удаления древостоя прекращается транспирация, в результате чего почва имеет меньший резерв поглощения и удержания атмосферных осадков. Поэтому в первые годы (или месяцы) после сплошной вырубki древостоя увеличивается сток воды в реке. Прибавка стока наблюдается с момента уничтожения древостоя до стадии восстановления лесных экосистем (замены другими типами растительности), при которых суммарное испарение равняется или превышает его исходную величину. Возрастание стока воды может быть обусловлено также уплотнением почвы. На магистральных трелевочных волоках почвогрунт превращается в водоупор, что вызывает образование поверхностного стока при дождях и обуславливает развитие линейной эрозии [23, 24]. Длительное увеличение водности реки после сплошных рубок древостоев может иметь место при эрозии и выносе почвы за пределы водосбора, что ускоряет деградацию ландшафта. В этом случае уничтожается или в значительной мере сокращается почвенно-растительный блок, удерживающий и испаряющий атмосферные осадки, что способствует усилению формирования разрушительных паводков.

Увеличение суммарного стока водотоков после сплошных рубок установлено в высотном поясе комплекса пихты кавказской [3]. Длительные (более 30 лет) исследования проведены на экспериментальных водосборах в дубовых и буковых лесах [6, 7, 24, 25].

В поясе дубовых лесов влияние рубок древостоев на изменение гидрологического режима водотоков наиболее четко отображают средние коэффициенты паводочного стока (табл. 72 [24]), которые (при суммах осадков за паводок — от 28.7 до 86 мм) на водосборе со сплошной рубкой (6.0 га) в среднем равны 64% (от 4.6 до 89%), без рубок (9.3 га) — 43.79% (5.2—74.0); при котловинной рубке (22.3 га) соответственно 47.9% (3.8—73.5), без рубок (24.9 га) 46.5% (4.7—72.4). Коэффициент паводочного стока (КПС) на сплошной вырубке (64%) превышает таковой на водосборе без рубок (43.79%) в 1.46 раза, на не сплошной вырубке в 1.03 раза. Таким образом, несплошная (котловинная) рубка древостоя несущественно нарушает водорегулирующие функции дубрав, что согласуется с выводом, полученным при ана-

лизе годовых значений стока на опытных водосборах [24].

В буковых лесах в районе междуречья Мзымта Псоу при сумме осадков за паводок от 66 до 183 мм (табл. 60 [24]) средние КПС составили на экспериментальном водосборе 3 (площадь 5.7 га, выборочная рубка) — 3.4% (0.8—6.7%); 2 (11.7 га, котловинная рубка) 6.9% (2.6—14.2%); 4 (19.9 га, без рубок) — 9.1% (3.0—17.8%). В данном случае величина КПС прямо пропорциональна площади водосбора. Наибольший КПС на самом крупном водосборе (без рубок) свидетельствует о более полном дренаже водотоком почвенных и грунтовых вод, за счет которых в основном формируется паводок. На этих водосборах различие в условиях дренажа перекрывает влияние рубок на КПС. Поэтому (а также по другим данным) вывод авторов [24] об изменении режима водотока через 10—15 лет после сплошной рубки букового леса ошибочен.

ВЫВОДЫ

В отличие от густых куртин кустарника и подроста полог спелых лиственных древостоев трансформирует интенсивные ливневые осадки в выпадающие струи воды. Они разрушают лесную подстилку, образуют на поверхности почвы эрозионные углубления (лунки) и вызывают поверхностный сток, который можно уменьшить формированием на склонах многоярусных древостоев с подростом и подлеском.

Растительность, расходуя влагу на испарение, освобождает в почве емкости, которые (в метровой толще) могут вместить атмосферные осадки слоем до 250 мм. В случаях, когда количество осадков не превышает величину (свободную от воды) диапазона активной влажности почвы, паводки не возникают.

Верхние горизонты лесных почв отличаются высокими значениями некапиллярной скважности и водопроницаемости. Когда почвы подстилаются водоупорными горными породами или плотным горизонтом, на склонах образуется почвенный и поверхностный сток, а на реках, водосборы которых покрыты лесом, может возникнуть паводок не меньшей высоты, чем на реках с безлесными бассейнами. Частичная залесенность водосборов обуславливает разновременное поступление ливневых вод в русла рек и способствует снижению высоты паводковой волны.

При хорошей инфильтрации почв и горных пород формирование высоты ливневых паводков определяется скоростью разгрузки грунтовых вод, а также направлением и уклоном пластов, вода из которых может выклиниваться далеко за пределами орошаемого ливнем водосбора.

В поясе субальпийских лугов при ливнях небольшой интенсивности на водосборах, в которых водотоки впадают в карстовые воронки, последние полностью переводят сток в подземный. При интенсивных ливнях воронки не успевают поглощать весь объем стока и значительная часть воды стекает по ложбинам в реку.

На реках Кавказа максимальные модули стока воды хорошо коррелируются с совместным воздействием площади и лесистости водосборов. Эта связь описывается уравнением, которое дает возможность приближенно прогнозировать величину максимальных расходов воды при изменении лесистости бассейнов. В наибольшей мере максимальные модули стока воды снижаются при лесистости водосборов 50 (45–60)%, что указывает на актуальность восстановления уничтоженных лесов в бассейнах горных рек Восточного и Центрального Кавказа, а также в верховье р. Кубань.

В дубовых лесах наибольший коэффициент паводочного стока характерен для водосбора со сплошной вырубкой древостоя, а наименьший — с котловинной рубкой. В поясе буковых лесов различие в дренаже водотоками почвенных и грунтовых вод перекрывает влияние рубок на коэффициент паводочного стока. Поэтому (а также по другим причинам) вывод об изменении режима водотока через 10–15 лет после сплошной вырубки букового леса ошибочен.

Исследования на малых водосборах, проводимые в России различными ведомствами в целях выявления нарушений гидрологического режима водотоков, в связи с рубками древостоев и другими работами необходимо осуществлять по единой методике и они должны систематически инспектироваться Институтом водных проблем РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б., Истомина М.Н. Наводнения в мире в последние годы XX века // Вод. ресурсы. 2000. Т. 27. № 5. С. 517–523.
2. Алексанян Э.Б. Природные факторы формирования и регулирования поверхностного стока рек вулканической области // Устойчивое развитие горных территорий: проблемы регионального сотрудничества и региональной политики горных районов. Тез. докл. 1У Междунар. конф. М.: Арт-Бизнес-Центр, 2001. С. 129–130.
3. Беленко Г.Т. Материалы об изменении ручьевого стока в пихтарниках Северо-Западного Кавказа // Природа и рациональное использование лесов Северного Кавказа. Тр. ВНИИЛМ. 1978. Вып. 13. С. 70–76.
4. Бефани Н.Ф. Теоретическое обоснование методов исследования и расчета паводочного стока рек Дальнего Востока // Вопросы формирования паводков на реках Дальнего Востока. Л.: Гидрометеоздат, 1966. С. 124–216.
5. Бефани А.Н., Иваненко А.Г. Водный баланс горных склонов // Тр. УкрНИГМИ. 1967. Вып. 69. С. 75–79.
6. Битюков Н.А. Водный баланс в связи с рубками в буковых лесах Северо-Западного Кавказа // Лесоведение. 1988. № 3. С. 56–65.
7. Битюков Н.А. Экология горных лесов Причерноморья. Сочи: НИИгорлесэкол, 2007. 397 с.
8. Важнов А.Н. Анализ и прогноз стока рек Кавказа. М.: Московский отдел Гидрометеоздат, 1966. 274 с.
9. Важнов А.Н. Гидрология рек. М.: Изд-во МГУ, 1976. 240 с.
10. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага. Л.: Гидрометеоздат, 1973. 328 с.
11. Воронков Н.А. Роль лесов в охране вод. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 288 с.
12. Гулисашвили В.З. Горное лесоводство. М.: Гослесагиздат, 1956. 354 с.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
14. Жуков М.М., Славин В.И., Дунаева Н.Н. Основы геологии. М.: Недра, 1961. 626 с.
15. Залиханов М.Ч., Акаева Л.А., Ардия М.М., Воронков З.В. Стихийные бедствия в горах Кавказа в многоснежную зиму 1986/87 г. и меры борьбы с ними // Тр. ВГИ. 1990. Вып. 79. С. 151–162.
16. Зонн С.В. Горно-лесные почвы Северо-Западного Кавказа. М.: Изд-во АН СССР, 1950. 333 с.
17. Иванов И.В. О влиянии лесистости бассейна на максимальный расход половодья // Тр. ЦИП. 1951. Вып. 24 (51). С. 55–59.
18. Идзон П.Ф. Соображения об учете водоохранной и водорегулирующей роли леса в лесном хозяйстве // Влияние леса на водные ресурсы / Под ред. Вомперского Э.С. М.: Наука, 1986. С. 153–159.
19. Идзон П.Ф., Пименова Г.С., Цыганкова О.П. Количественные характеристики водоохранной и водорегулирующей роли леса // Влияние леса на водные ресурсы / Под ред. Вомперского Э.С. М.: Наука, 1986. С. 4–42.
20. Ильичев Б.А., Грачева Р.Г. Состояние рыхлого чехла горных территорий как критерий их устойчивого развития // Изв. РАН. Сер. геогр. 1998. № 6. С. 48–59.
21. Кавказ (природные условия и естественные ресурсы СССР). М.: Наука, 1966. 482 с.
22. Казанкин А.П. Влияние состава пород, крутизны и экспозиции склонов на поверхностный и внутрипочвенный сток // Почвоведение. 1976. № 16. С. 46–58.
23. Казанкин А.П. Особенности экологических функций горных лесов Северного Кавказа. М.: ВНИИЦ-лесресурс, 1995. 52 с.
24. Коваль И.П., Битюков Н.А. Экологические функции горных лесов Северного Кавказа. М.: ВНИИЦ-лесресурс, 2000. 480 с.
25. Коваль И.П., Битюков Н.А. Экологические основы пользования лесом на горных водосборах (на примере Северного Кавказа). Краснодар: Кубанский учебник, 2001. 408 с.

26. *Коронкевич Н.И.* Экстремальная водность года: ее проявления и последствия // *Вод. ресурсы.* 2002. Т. 29. № 1. С. 20–27.
27. *Львович М.И.* Человек и воды. Преобразование водного баланса и речного стока. М.: Географгиз, 1963. 568 с.
28. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1986. Т. 1. Вып. 1. 243 с.
29. *Молчанов А.А.* Гидрологическая роль леса. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 454 с.
30. *Онучин А.А., Гапаров К.К., Михеева Н.А.* Влияние лесистости и климатических факторов на годовой сток рек Прииссыкуля // *Лесоведение.* 2008. № 6. С. 45–52.
31. Основные направления развития водохозяйственного комплекса России до 2010 года и и план мероприятий по их реализации. // *Экологический вестн. России.* 2005. № 9. С. 54–60.
32. *Принц Е.* Гидрогеология М.Л.: Гос. изд-во колхозн. и совхозн. литературы, 1933. 382 с.
33. *Раткович Д.Я., Раткович Л.Д.* Типы наводнений и пути сокращения наносимых ими ущербов // *Вод. ресурсы.* 2000. Т. 27. № 3. С. 261–266.
34. *Роде А.А.* Водный режим почв // *Доклады советских ученых на международном симпозиуме по влиянию леса на внешнюю среду.* М.: ВНИИЛМ, 1970. Т. 1. С. 117–144.
35. *Ряузов Н.Н.* Общая теория статистики. М.: Статистика, 1971. 368 с.
36. *Чагелишвили Р.Г.* Научные основы ведения хозяйства в горных водоохраннозащитных лесах Грузии. Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Красноярск: Ин-т леса и древесины, 1984. 41 с.
37. *Lamarche Josyanne, Bradley Robert L., Pare David, Legare Sonia, Bergeron Yves.* Soil parent material may control forest floor properties more // *Ecoscience.* 2004. № 2. P. 228–237.
38. *Robinson M., Cognard-Plang A-L., Cosandey C. et al.* Studies of the impact of forests on peak flows and base flows: a European perspective // *Forest Ecol. And Manag [ЭУ].* 2003. № 3. P. 85–97.