Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Сочинский национальный парк» (ФГБУ «СНП»)

Н. А. БИТЮКОВ Ю.Ю. ТКАЧЕНКО

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАВКАЗА

МОНОГРАФИЯ

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ
Сочинского национального парка

Сочи
2017

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Департамент государственной политики и регулированияв
сфере охраны окружающей среды и экологической безопасности

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Сочинский национальный парк»
(ФГБУ «СНП»)

Н. А. БИТЮКОВ
Ю.Ю. ТКАЧЕНКО

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАВКАЗА

МОНОГРАФИЯ

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ
Сочинского национального парка

Выпуск 9

Сочи - 2017

УДК 556.047; 556.048; 556.121; 556.16; 630*58
ББК-20.1

Гидрологический очерк Черноморского побережья Кавказа: Монография / **Н.А.Битюков, Ю.Ю.Ткаченко,** Сочи: ФГБУ «Сочинский национальный парк»//Научные труды, вып.9..2017. - 460 с., с ил.

Авторы:

Битюков Николай Александрович, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Кубани, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Сочинский национальный парк».

Ткаченко Юрий Юрьевич, кандидат географических наук, руководитель ГКУ Краснодарского края «Территориальный центр мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера»

Рецензенты:

Погорелов Анатолий Валерьевич, доктор географических наук, зав. кафедрой геоинформатики Кубанского госуниверситета, профессор.

Шагаров Лев Мерабович, кандидат географических наук, зам. директора по научной работе ГКУ КК "Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности"

В монографии приведены результаты многолетних исследований генезиса склонового и речного стока на Черноморском побережье Кавказа, полученные на малых (элементарных) бассейнах, а также на базе мониторинговых наблюдений за стоком рек региона, опубликованных Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Для описания многообразия условий формирования паводков в регионе особое внимание уделено экспедиционным исследованиям склонового стока в различных локальных орографических условиях. Определены закономерности динамики экологических функций лесов под влиянием способов и технологий рубок главного пользования на малых (элементарных) водосборах и в бассейнах основных рек региона.

Монография ориентирована на широкий круг читателей, научных сотрудников, экологов, работников профильных учреждений, осуществляющих управление лесами и особо охраняемыми природными территориями.

© ФГБУ «Сочинский национальный парк», 2017
© Битюков Н.А., Ткаченко Ю.Ю.
© Типография ИП Кривлякин С.П. («Оптима»), 2017

ISBN 978-5-91789-254-2

УДК 556.047; 556.048; 556.121; 556.16; 630*58
ББК-20.1

Гидрологический очерк Черноморского побережья Кавказа: Монография **/ Н.А.Битюков, Ю.Ю.Ткаченко,** Сочи: ФГБУ «Сочинский национальный парк»//Научные труды, вып.9..2017. - 460 с., с ил.

Авторы:

Битюков Николай Александрович, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Кубани, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Сочинский национальный парк».

Ткаченко Юрий Юрьевич, кандидат географических наук, руководитель ГКУ Краснодарского края «Территориальный центр мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера»

Рецензенты:

Погорелов Анатолий Валерьевич, доктор географических наук, зав. кафедрой геоинформатики Кубанского госуниверситета, профессор.

Шагаров Лев Мерабович, кандидат географических наук, зам. директора по научной работе ГКУ КК "Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности"

В монографии приведены результаты многолетних исследований генезиса склонового и речного стока на Черноморском побережье Кавказа, полученные на малых (элементарных) бассейнах, а также на базе мониторинговых наблюдений за стоком рек региона, опубликованных Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Для описания многообразия условий формирования паводков в регионе особое внимание уделено экспедиционным исследованиям склонового стока в различных локальных орографических условиях. Определены закономерности динамики экологических функций лесов под влиянием способов и технологий рубок главного пользования на малых (элементарных) водосборах и в бассейнах основных рек региона.

Монография ориентирована на широкий круг читателей, научных сотрудников, экологов, работников профильных учреждений, осуществляющих управление лесами и особо охраняемыми природными территориями.

©ФГБУ «Сочинский национальный парк», 2017
©Битюков Н.А., Ткаченко Ю.Ю.
ISBN 978-5-91789-254-2

Оглавление

		Стр
	ВВЕДЕНИЕ	
1	СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ	10
1.1	Гидрологическая изученность региона ……..	10
1.2	Основные понятия, применяемые при анализе гидрологической информации …….	17
1.3	Закономерности строения гидрографической сети ..	22
2	ПРОГРАММА, МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ …….	27
2.1	Методика исследований стока на уровне речных водосборов …...	27
2.2	Методика экспериментального изучения стока на малых (элементарных) водосборах ……..	33
2.3	Стационарное изучение склонового стока ……..	35
2.4	Экспедиционные исследования склонового стока методом искусственного дождевания …….	37
2.5	Инфильтрационная съемка склонов ……..……	38
3	КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАВКАЗА	41
3.1	Географическое положение и морфометрия ……	41
3.2	Характеристика климата района ……...	42
3.2.1	Синоптические условия ……	43
3.2.2	Ветровой режим …….	45
3.2.3	Температура воздуха и поверхностного слоя воды…	47
3.2.4	Осадки …….	49
3.3	Особенности природы северо-западной части региона	55
3.4	Природные условия юго-восточной части побережья	58
3.4.1	Геология района Сочинского Причерноморья ……	61
3.4.2	Рельеф юго-восточного подрайона ЧПК ……	68
3.4.3	Геоморфология территории ……	76
3.4.4	Климатообразующие факторы ……	84
3.4.5	Растительный мир ……	89
4	СКЛОНОВЫЙ СТОК И ФАКТОРЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ ЕГОВ ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ ……	97

4.1	Закономерности формирования склонового стока ….	97
4.2	Экспериментальные данные по стоку с малых водосборов ……	101
4.3	Влияние крутизны склона на склоновый сток ……	104
4.4	Влияние на сток режима дождевых осадков ……	106
4.5	Гидрологическая роль почвенного покрова ……	111
4.6	Впитывание и инфильтрация на элементарных водосборах в буковой лесорастительной зоне ……	127
4.7	Впитывание и инфильтрация на элементарных водосборах в дубравной лесорастительной зоне ……	133
4.8	Результаты изучения склонового стока на элементарных водосборах……..	134
4.8.1	Наблюдения за склоновым стоком в буковой зоне (ЛГС «Аибга») ……..……	134
4.8.2	Наблюдения за склоновым стоком в дубравной зоне (ЛГС «Горский») ……	144
4.9	Водный баланс горных склонов в юго-восточной части региона ……..……	156
4.10	Водный баланс горных склонов в северо-западной части региона …….	160
5	ИЗУЧЕНИЕ СКЛОНОВОГО СТОКА ПО ЭКСПЕДИЦИОННЫМ ДАННЫМ ……..	183
5.1	Экспедиционные исследования генезиса стока в бассейне реки Мзымта …….	183
5.1.1	Природные условия района экспедиционных работ……	183
5.1.2	Подбор и описание экспериментальных участков …….	188
5.1.3	Результаты опытов и их оценка ……..	202
5.1.4	Итоги экспедиционного изучения склонового стока в бассейне Мзымты ……..	221
5.2	Экспедиционные исследования склонового стока в бассейне реки Шахе …….	228
5.2.1	Задачи исследований ……	228
5.2.2	Характеристика природных условий района исследований ……..……	229
5.2.3	Методика исследований ……	235
5.2.4	Описание склонов, участков и площадок ……	235
5.2.5	Описание и результаты опытов ……	251
5.2.6	Расчет параметров склонового стока ……	267

5.3	Экспедиционные исследования генезиса стока в приморской зоне ЧПК ……..	280
5.4	Теоретическое моделирование склонового стока ……	286
6	ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТЬ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАВКАЗА ……..	294
6.1	Список рек и морфометрическая характеристика речной сети ……..……	294
6.2	Формирование и внутригодовое распределение стока рек ……..……	307
6.3	Характеристика водного режима основных рек района ……	311
6.4	Твердый сток и химический состав воды на реках Черноморского Побережья Кавказа ……..……	318
6.4.1	Оценка фоновой эрозии в бассейнах горных рек региона ……	318
6.4.2	Химический состав речных вод Черноморского Побережья Кавказа ……...	325
6.5	Озера и водопады на реках ЧПК ……..	327
7	РУСЛОВОЙ СТОК И ФАКТОРЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ ЕГО НА ТЕРРИТОРИИ ЧПК ……	331
7.1	Факторы формирования речного стока ……	331
7.2	Исследование гидравлических особенностей течения горных рек региона ……..	336
7.2.1	Гидравлические сопротивления при ламинарном и турбулентном режимах движения воды ……..	337
7.2.2	Формулы для определения коэффициента С в формуле Шези и их сопоставление ……..	342
7.2.3	Динамика коэффициента шероховатости по данным гидрометрических измерений на горных реках Сочинского Причерноморья ……...	349
7.2.4	Гидрометрический пост р.Псезуапсе-с.Татьяновка…..	350
7.2.5	Гидрометрический пост р. Шахе -с. Солох-Аул …….	351
7.2.6	Гидрометрический пост р.Псий-с.Тух-Аул ……..	352
7.2.7	Гидрометрический пост р.Сочи - с.Пластунка……	353
7.2.8	Гидрометрический пост р. Мзымта - р. п. Красная Поляна ……..……..	354
7.2.9	Гидрометрический пост р.Мзымта-пос.Кепш……	355
7.2.10	Гидрометрические посты р.Бешенка-р.п.Красная Поляна и р. Кепш-пос.Кепш……	356

7.3	Влияние площади водосбора на речной сток ……	361
7.4	База данных по осадкам на основе наблюдений Росгидромета ……	367
7.5	Влияние снежного покрова на формирование речного стока ……	383
7.6	Геоморфологические факторы и подстилающая поверхность ……	391
7.7	Анализ материалов по стоку основных рек Черноморского побережья по данным Росгидромета ..	393
7.8	Базы данных по стоку рек на основе наблюдений сети Росгидромета ……..…	399
7.9	Максимальный сток на реках Черноморского побережья Кавказа ……..……..	417
7.10	Вероятностная оценка повторяемости максимального стока ……..……..	423
7.11	Минимальный сток на реках Черноморского побережья Кавказа ……..……..	430
7.12	Районирование территории Черноморского побережья Кавказа по гидрологическим признакам ……	433
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....…	441
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	446

ВВЕДЕНИЕ

Цель настоящих исследований - сбор и обработка информации о генезисе склонового и руслового (речного) стока в горных условиях Черноморского побережья Кавказа. Источниками информации являлись:

- Материалы исследований формирования склонового стока на малых (элементарных) водотоках в условиях различных лесорастительных формаций региона.

- Материалы экспедиционных исследований склонового тока в основных бассейнах рек региона.

- Базы данных по осадкам, наблюденным на опорной сети Росгидромета.

- Базы данных по стоку основных рек региона, опубликованных в Гидрологических ежегодниках.

- Тематические карты районирования территории региона по гидрологическим признакам.

Задачи работы:

Провести анализ материалов по изучению генезиса склонового стока и параметров, формирующих его в горных условиях Черноморского побережья Кавказа.

Изучить особенности формирования руслового стока на основных реках региона, имеющих режимные наблюдения на опорной сети Росгидромета.

Создать компьютерные базы данных по осадкам и стоку на основных водосборах территории региона за весь период имеющихся наблюдений.

Провести анализ водного баланса малых (элементарных) водосборов, в условиях антропогенного влияния на лесных экосистемы в различных лесорастительных зонах региона.

Сведения, полученные в результате проведения мониторинга речных экосистем, призваны обеспечить устойчивое управление природными ресурсами региона, что особенно важно в связи с усиливающими-

ся рекреационными нагрузками.

Основными методами исследований являются: теоретическое обобщение и компьютерная обработка исследований по мониторингу горных речных экосистем, анализ существующих экспериментальных данных по горным экосистемам и их реакции на техногенные и технологические воздействия, анализ наблюдений за элементами среды и критериями состояния речных экосистем на репрезентативной сети в данном регионе.

В основу мониторинга элементарных водосборов региона положен метод многолетнего активного эксперимента на водосборах лесогидрологических стационаров, заложенных в зоне буковых и дубовых лесов региона в репрезентативных условиях. Для исследований принята система критериев мониторинга лесных экосистем, включающая характеристики насаждений, показатели водно-балансовых наблюдений (режимы осадков, влажности почвы, твердого и жидкого стока), а также микроклиматические наблюдения на водосборах с опытными рубками и на контрольных бассейнах.

Наблюдения за стоком на гидрометрических постах обобщены в табличном и графическом виде с использованием баз данных. В результате был проведен анализ динамики элементов экологического потенциала насаждений после проведения опытно-производственных рубок на малых водосборах (площадью от 6 до 25 га).

При анализе генезиса склонового и руслового стока региона особое внимание уделено роли лесной растительности в речных экосистемах. Горные леса Северо-Западного Кавказа занимают около 650 тыс. га и являются основным компонентом природных экосистем, обеспечивающих поддержание стабильности, экологического равновесия и гидрологического режима ландшафтов главной курортной зоны страны. На рис.1-4 представлены снимки долин основных рек в различных лесорастительных зонах.

Рисунок 1 – Долина реки Джубга в среднем течении

Рисунок 2 – Долина реки Псоу в среднем течении

Рисунок 3 – Долина реки Шахе в среднем течении

Рисунок 4 – Долина реки Мзымта в среднем течении

Глава 1
СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ

1.1 Гидрологическая изученность региона

Представленные в настоящей книге данные по исследованию горных лесных экосистем Северо-Западного Кавказа основаны на изучении опубликованных материалов, а также фондовых материалов ФГУ «НИИгорлесэкол», ФГУ «Сочинский национальный парк», Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды по Краснодарскому краю, департамента лесного хозяйства Краснодарского края, личных полевых исследований. Многое из излагаемого ниже, в разное время было опубликовано авторами в сотрудничестве с коллегами в ряде статей и в отдельных монографиях, а также послужило материалом для написания кандидатских и докторских диссертаций.

Следует особо отметить, что мониторинговые исследования факторов формирования речного стока в формациях бука восточного и дуба скального в регионе являются итогом многолетней работы большого коллектива ученых, среди которых необходимо назвать доктора с-х наук проф. И.П.Коваля, канд.с-х наук Шевцова Б.П., Щинникова Р.Д., Ильина А.И., Шашкову М.В., Гаршину Т.Д., д-ра с-х наук Чернышова М.П., канд.с-х наук Сидорова О.Г.,канд.с-х наук Скрипника И.А., канд.с-х наук Полежая П.М., канд.с-х наук Нетребенко В.Г., специалистов – гидрометеорологов Гребенюк Н.В., Сидорова Г.П., Лубенцова В.Г. и многих других. Всем им авторы выражают огромную благодарность за их нелегкий труд по экспериментальному изучению водоохраной роли лесов в регионе.

Теоретической основой для разработки рассматриваемой проблемы является учение о лесных биогеоценозах, сформулированное акад. В.Н.Сукачевым (1955,1965). В работах Ю.Одума и других авторов сформулированы принципы и концепции экологических систем на различных уровнях. Так, по определению Ю.Одума, экологическую систему составляет любое единство, включающее все организмы на определенном участке и взаимодействующие с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенную трофическую струк-

туру, видовое разнообразие и круговорот веществ внутри системы. И далее: “Экосистема есть основная функциональная единица экологии, поскольку она включает и организмы (биотические сообщества) и абиотическую среду, причем каждая из этих частей влияет на другую, и обе необходимы для поддержания жизни в том виде, в каком она существует на земле”. (Одум, 1995,стр. 17).

В различных регионах исследователями накоплены обширные данные по рассматриваемой проблеме, однако количественно оценены далеко не все компоненты экосистем и связывающие их энергетические потоки. При описании экосистем обычно строятся граф-схемы, на которых компоненты экосистем связываются стрелками, показывающими связи с внешними объектами и направления потока вещества или энергии. Научной основой решения рассматриваемой проблемы является современная лесная гидрология, а также экология (биогеоценология) как наука, изучающая внешние взаимосвязи экосистем, их внутреннюю структуру, функционирование и эволюцию. (Одум, 1955, стр. 232). Ее методической основой является стационарное непрерывное слежение за состоянием экосистем (природных или антропогенных) и других составляющих биосферы, с помощью которого определяют направления и темпы естественных изменений и выявляют ответные реакции на многообразные формы внешних возмущений, порождаемых хозяйственной деятельностью.

Методической основой геоэкологических исследований является уравнение баланса вещества и энергии. Так, интенсивность процесса характеризуется уравнением: $P = \Delta B + \Delta D + \Delta S + \Delta C$, где: P - продукция, а Δ - приращение органического вещества в каком-либо из блоков B, D, S и C экосистемы за время Δ t. Конкретизацией указанного уравнения служат уравнения водного и теплового баланса участка горного склона, при этом наиболее удобным для исследований является водосбор наименьшего притока реки - элементарный водосбор, представляющий собой достаточно однородную площадь в отношении геоморфологических, почвенных, геологических, климатических , гидрологических и лесорастительных условий.

Отечественная и зарубежная литература, освещающая вопросы водорегулирующей, климаторегулирующей и противоэрозионной роли леса, весьма обширна. Наиболее обстоятельные работы в этой области выполнены Г.Н. Высоцким, Н.И. Рощиным, И.В. Тюриным, В.И.Рутковским, А.А.Молчановым, А.Д.Дубахом, В.З.Гулисашвили, Дж. Китриджем, А.С. Козменко, П.Ф. Идзоном, М.И. Львовичем, В.В.Рахмановым, Д.Д. Соколовским, А.И. Субботиным, В.В.Протопоповым, Н.А. Воронковым, М.В. Рубцовым, С.Э. Вомперским, В.И.Таранковым, и многими другими. Основное внимание уделялось анализу особенностей и изменений режима речного стока как результирующего фактора от влияния лесной растительности на окружающую среду. Тем самым в явной или завуалированной форме дается количественная оценка средообразующей роли - через водный баланс или отдельные его элементы. В последнее время появилось много работ, в которых оценивается весь комплекс средообразующего влияния леса. Однако для большинства исследователей наиболее важными из всех многообразных функций лесной растительности остаются водорегулирующая и противоэрозионная.

По данным И.П.Коваля (1972), горные леса занимают значительную часть территории Северного Кавказа, который по характеру растительности и естественно-историческим условиям разделяется на Северо-Западный, Центральный, Восточный районы и Внутренний Дагестан. Основной фон лесной растительности Северного Кавказа создают широколиственные леса (дубравы, букняки, грабовники). Менее представлены хвойные (сосняки, пихтарники). Распределение лесов по территории неравномерно. Основная их часть сосредоточена в горных и предгорных районах Северо-Западного и Центрального Кавказа.

Дубовые леса на Северном Кавказе занимают полосу нижних предгорий и среднегорья. Они сформированы несколькими полиморфными и экологически дифференцированными видами и подвидами дубов: летним, скальным, грузинским, пушистым, курчавым, Гартвиса, крупнопыльниковым, восточным. На Северо-Западном Кавказе их граница проходит на высоте 500-700 м над ур.моря. В Центральном Кавка-

зе по долинам и речным склонам дубовые древостои поднимаются до 1000-1100 м, а на внутренних хребтах по южным склонам - до 1800-2000 м над ур.м.Основные массивы из дуба скального приурочены к среднегорному поясу (500-1000 м над ур.м.).

Пояс буковых лесов на Северном Кавказе начинается на западе от реки Пшиш и простирается на восток до границы лесов. Высотные пределы его при этом изменяются от 100-200 м на северо-западе до 1000-1100 м в Центральном и Восточном Кавказе. В западной части региона пояс буковых лесов размещается от 600 до 900 м над ур.м., а в центральной и восточной - от 700-800 до 1700-1800 м над ур.м. Наиболее продуктивные древостои бук формирует на высоте 700-1300 м над ур.м. В Центральном Кавказе бук в виде криволесий поднимается до 2100-2200 м, где иногда образует верхнюю границу леса. Пояс буковых лесов на высоте 1700-1800 м над ур.м. сменяется березняками, темнохвойными лесами, а на крайнем востоке - парковыми дубравами из дуба восточного. Оптимальные условия для буковых лесов на Черноморском побережье отмечаются на высоте 300-1200 м над ур.м. На богатых, глубоких свежих почвах буковые древостои достигают высоты 42-45 м с запасом древесины 600-700 $м^3$/ га.

Пояс темнохвойных лесов из пихты кавказской и ели восточной располагается в пределах 1000-2000 м над ур.м. между Пшехо-Пшишским (на западе) и Кубано-Терским (на востоке) водоразделами. Кроме чистых пихтовых и пихтово-еловых древостоев значительное распространение имеют смешанные пихтово-буковые насаждения, расположенные в пределах 800-1300 м над ур.м.Пояс пихтовых лесов в западной части ареала сменяется буковым криволесьем, парковыми кленарниками, березняками, а на востоке - березовым криволесьем. На южных склонах темнохвойные леса сменяются сосняками.

Пояс сосново-березовых лесов из сосны Сосновского, березы Литвинова и березы бородавчатой наиболее ясно выражен в Центральном Кавказе.

Количественные гидрологические характеристики водного баланса, материалы по динамики роста и развития древостоев на выруб-

ках направлены на совершенствование средосберегающих систем ведения лесного хозяйства и защиты территорий от наводнений.

Эксперименты на парных бассейнах, где в начале проводятся наблюдения без изменения обстановки (калибровочный период) , а затем в одном из бассейнов условия меняются, а в другом (контрольном) остаются без изменения, показывают в основном увеличение годового стока на 4-15% после вырубки лесов. Везде после вырубки резко возрастают пики паводков и эрозия почв в бассейнах. Ряд авторов приходят к выводу о значительной роли так называемого внутрипочвенного стока и формирования малых лесных водотоков. Они относят этот сток вместе с поверхностным к прямому, или быстрому (в отличие от замедленного грунтового). Мы применили в своих исследованиях термин «склоновый сток», имея в виду возникающий на горных склонах быстрый сток на склоне, проходящий в течение часов и суток после паводкообразующего дождя. Именно при формировании такого стока сказывается влияние почвенных и растительных условий на генезис стока.

В целом, многочисленные исследования как у нас в стране, так и за рубежом позволяют сделать вывод о том, что в различных физико-географических и климатических условиях все виды влияний леса на среду проявляют себя с разной интенсивностью и могут давать в итоге различный суммарный эффект. На уровне речных экосистем, состоящих из нескольких сотен элементарных водосборов, мониторинговые исследования должны ответить на вопрос, каким образом реагирует интегральная система на изменения параметров среды в связи с рубками и другими хозяйственными мероприятиями на площади речных систем.

Комплексная характеристика Северного Кавказа, его природных условий и речного стока представлена в монографии «Ресурсы поверхностных вод СССР» (1973), а также в монографиях П.М.Лурье (2002, 2005 - совместно с В.Д. Пановым, Ю.Ю. Ткаченко). Исследования годового и среднего многолетнего стока рек Северного Кавказа приведены в работах Б.Д. Зайкова (1946), П.П. Кучерявого (1960). Годовой, максимальный, минимальный сток рек Северо-Западного Кавказа рассмотрен в работах Т.Н. Мельниковой, А.М. Комлева (2003), В.И. Коровина, Г.А.

Галкина (1977, 1979).Исследованием водного баланса Кавказа занимались Jl.A. Владимиров, Г.Н. Гигинейшвили, А.И. Джавахишивили, Н.Н. Закарашвили (1991). Анализу и прогнозу стока рек Кавказа посвящена работа А.Н. Важнова (1966). Классификация рек и гидрологическое районирование представлены в работах П.С. Кузина (1960), Jl.K. Давыдова, П.П. Кучерявого (1961). Отдельно минимальным стоком рек Кавказа в разные годы занимались А.М. Владимиров, Г.Н. Хмаладзе (1972), Р.К. Клиге (1963, 1964, 1968), В.Д.Быков, В.А. Скорняков, И.С. Федорова (1984). Оценка влияния климатических изменений, а также антропогенной нагрузки на сток рек Северного Кавказа приведена в работах П.М. Лурье, В.Д. Панова, Т.И. Дегтяренко, А.Ф. Мандыча и др. Хозяйственное использование водных ресурсов территории представлено в работах И.А. Шикломанова, Jl.E. Смирновой, А.С. Хорецкой, Н.Е. Кошелевой, Д.В. Магрицкого, А.А. Иванова и др. Научно-исследовательские работы по данной проблеме в ФГБУ «НИИгорлесэкол» проводились в периоды 1963-2012 гг. (в формации бука восточного) ив1974-2012 гг. (в формации дуба скального). Были получены материалы мониторинга за лесными экосистемами на лесогидрологических стационарах (ЛГС) и постоянных пунктах наблюдения по мониторингу горных лесов Северо-Западного Кавказа (рис.5 и 6). Кроме того, в этот период в буковой и дубравной зонах проводились экспедиционные исследования состояния почвенного покрова на площадях рубок с различной технологией лесозаготовок, их водно-физических свойств, а также гидрологического режима близ расположенных речных систем.Результаты мониторинга лесных экосистем малых водосборов Черноморского побережья Кавказа в формациях бука восточного (ЛГС «Аибга») идуба скального (ЛГС «Горский») позволили создать многолетний банк данных динамики подлеска, травяного покрова и листового опада, а также микроклимата и стока на водосборах с опытными рубками и на контрольных бассейнах (Битюков, 2007; Коваль, Битюков, 2001;Коваль, Битюков, Шевцов, 2012).Выполнен анализ экспериментальных данных по динамике осадков, склонового стока, температуры и влажности воздуха и почвы в лесных дубовых экосистемах региона.

Рисунок 5– Лесогидрологический стационар «Аибга» в букняках

Рисунок 6 – Лесогидрологический стационар «Горский» в дубравах

В результате многолетних наблюдений за элементами лесных экосистем, измененных рубками главного пользования, установлено, что в связи с рубками изменяются все параметры среды – как общая биомасса древостоя, его листовая поверхность, так и взаимная связь почвообразовательных и лесовосстановительных процессов с насаждениями. Анализ географических факторов формирования стока позволил получить оценку пространственного распределения характеристик стока с учетом размеров и высоты водосборов.

1.2 Основные понятия, применяемые при анализе гидрологической информации

В современной гидрологической литературе приняты следующие основные представления, применяемые при анализе гидрологических рядов наблюдений и гидрологическом моделировании (приведено по материалам руководства[1]):

Репрезентативные бассейны — это бассейны, которые являются типичными для гидрологических регионов, т. е. для регионов, в пределах которых предполагается однообразие гидрологических характеристик. Они используются для интенсивных исследований специфических проблем гидрологического цикла (или его части) в относительно неизменных природных условиях.

Экспериментальные бассейны — это бассейны, имеющие однородный почвенный и растительный покров и однообразные физические характеристики. На таких бассейнах естественны условия, т. е. одна или несколько характеристик, умышленно подвергаются изменениям и изучается влияние этих изменений на гидрологические характеристики.

- *Динамическим (детерминированным)* считается такой процесс, поведение которого во времени можно определить точно, зная его начальное состояние.

- *Стохастическим* называют процесс, поведение которого можно предвидеть с некоторой вероятностью.

Гидрологическая модель— математическая формулировка для воспроизведения естественных гидрологических явлений, которые рассматриваются как процессы или системы.

Гидрологический процесс— гидрологическое явление, которое претерпевает непрерывные или периодические изменения, особенно во времени (временной ряд).

Модель вероятностного процесса— принимается в расчет веро-

[1] Репрезентативные и экспериментальные бассейны // Международное руководство по исследованиям и практике. Под редакцией К.Тоубса и В.Урываева. Гидрометеоиздат. Л.1971 – 428 с

ятность появления переменных, участвующих в таком процессе; в формирование модели вводится понятие вероятности. Последовательность появления случайных переменных не учитывается (например, продолжительность стока).

Гидрологическая система— совокупность или собрание объектов, объединенных некоторым постоянным взаимодействием или взаимосвязью. Система является динамичной, если в ней происходит какой-либо процесс. Система называется последовательной, если она включает приход, расход и остаток (например, гидрологический цикл, т. е. круговорот воды является последовательной динамической системой). Для упрощения большинство систем рассматривается как детерминистические.

Стационарный процесс— распределение вероятности переменной *x* остается постоянным в течение всего процесса.

Нормы, нормальные гидрологические величины— средние значения гидрологических характеристик, вычисленные за период продолжительности наблюдений.

Водный баланс— баланс прихода и расхода воды в пределах определенного гидрологического пространства, такого, как бассейн, озеро и т. д.,.

Экосистема— взаимодействующий комплекс почв, растительного покрова и животного мира, который, реагируя на климатические и прочие условия среды, создает разнообразный покров на большей части поверхности суши.

Термины, относящиеся к поверхностным водам

Постоянный водосток— сток в реках, в которых вода находится в любое время, за исключением очень сильных засух.

Перемежающийся водосток— сток в реках, несущих воду большую часть времени года, но иногда течение прекращается вследствие того, что испарение и просачивание в дно и берега превышают величину речного стока.

Временный водосток— сток в реках, несущих воду лишь после дождей или периодов снеготаяния.

Поверхностное задержание(начальное задержание)—та часть осадков, которая не тратится на инфильтрацию или стекание в виде поверхностного стока во время выпадения дождевых осадков или снеготаяния или сразу после их окончания. Поверхностное задержание включает аккумулирование воды в понижениях и потери на перехват растительностью.

Накопление воды на поверхности бассейна— объем или слой осадков на поверхности земли или в руслах во время или вскоре после выпадения дождя или снеготаяния, идущий на поверхностный сток и/или инфильтрацию во время дождя или вскоре после его окончания.

Русло— открытый естественный или искусственный водосток, по которому постоянно или периодически происходит сток воды.

Инфильтрация— движение жидкости сквозь поры или незначительные отверстия какого-либо вещества; в гидрологии — это передвижение воды в почву.

Интенсивность инфильтрации— скорость инфильтрации (слой или объем воды, инфильтрующийся в единицу времени).

Инфильтрационная способность— максимальная скорость, при которой вода может просачиваться в почву в данных условиях.

Установившаяся инфильтрация— конечная приблизительно постоянная интенсивность инфильтрации.

Сток (flow) —движение воды или другого подвижного вещества. Как термин может означать сток (run-off) или расход (discharge).

Сток (run-off)—обычно сток воды, возникающий от осадков, рассматриваемый как объем или слой воды.

Расход— сток воды, рассматриваемый как интенсивность стенания.

Поверхностный сток— стекание воды по земной поверхности. Поверхностный сток включает склоновый и русловой сток и обычно образуется от «избытка дождевых осадков».

Склоновый сток— стекание воды по земной поверхности при ее перемещении к постоянному речному руслу. Этот сток образуется из вод, накапливающихся на поверхности земли,

Сток русловых осадков(русловые осадки) —та часть стока воды в

постоянных речных руслах, которая образуется от осадков, выпадающих непосредственно на поверхность русла реки.

Внутрипочвенный сток(быстрый, подповерхностный сток)—стекание воды из временных зон насыщения. Вода движется при этом сквозь верхние слои почвы со скоростью, значительно превышающей нормальную скорость просачивания.

Базисный сток— сток грунтовых вод из постоянного горизонта грунтовых вод.

Модуль стока— водоотдача с единицы площади водосбора в единицу времени (л/сек. км^2 или м^3/сек. км^2).

Климатологические термины

Макроклимат— общий климат, господствующий на большой территории, рассматриваемой как единое целое.

Мезоклимат— климат в долине или системе долин, который отличается от макроклимата.

Микроклимат— климат очень небольшой территории с точки зрения местных отличий от общего климата района.

Осадки— выпадение воды в жидком или твердом состоянии из атмосферы на земную поверхность. Осадки включают дождь, снег, град, мокрый снег и росу.

Дождевые осадки— количество осадков, выпадающих на землю только в виде дождя.

Интенсивность дождя— мера выпадения дождевых осадков — слой или объем дождя в единицу времени.

Избыток дождевых осадков— избыточное количество дождевые осадков сверх потерь на перехват, заполнение западин, инфильтрацию и испарение. Эта часть дождевых осадков идет на формирование поверхностного или непосредственного стока.

Перехват осадков растительностью— процесс, при котором дождевые осадки перехватываются лесной растительностью и перераспределяются на осадки, проникающие сквозь полог леса, стекающие по стволам и испаряющиеся.

Осадки под кронами— дождевые осадки, которые попадают на

лесную подстилку через промежутки в кронах деревьев или в виде капель с листьев, ветвей и стволов.

Сток по стволам— дождевые осадки, перехваченные листвой и попавшие на лесную подстилку или минеральную почву в результате стенания вниз по стволам деревьев.

Снег— вид осадков, состоящих из кристаллов льда, большая часть которых имеет разветвленную форму или форму звезд.

Снегомерный маршрут— одна или ряд соединяющихся линий, вдоль которых измеряется высота снежного покрова и берутся пробы снега в пунктах, расположенных на равном расстоянии друг от друга.

Снегомерная съемка— измерение высоты и плотности снежного покрова по закрепленной промерной линии для определения запаса воды в снежном покрове наплощади.

Плотность снега— отношение объема талой воды, полученной при взятии пробы снега, к первоначальному объему пробы. Эта величина численно равна удельному весу (плотности) снега.

Запас воды в снежном покрове— количество воды, которое можно получить при полном таянии снега.

Роса— капли воды, отложившейся вследствие конденсации водяного пара из воздуха главным образом на горизонтальных поверхностях, охлажденных ночной радиацией.

Упругость пара— давление, оказываемое паром, когда он находится в ограниченном пространстве. При смешении нескольких видов газа или пара в одном и том же пространстве каждый оказывает такое давление, как будто остальные не присутствуют.

Абсолютная влажность— масса воды, находящейся в данном объеме влажного воздуха.

Удельная влажность— количество водяного пара (в граммах), находящегося в 1 грамме влажного воздуха.

Относительная влажность - отношение (выраженное в процентах) количества водяного пара, находящегося в единице объема воздуха, к количеству пара, которое бы находилось в том же объеме воздуха при его полном насыщении при данной температуре.

Точка росы— температура, до которой может быть охлажден воздух, не вызывая явления конденсации. Это температура, при которой упругость насыщения пара идентична упругости пара в воздухе.

Радиация— энергия, излучаемая в форме электромагнитных волн.

Интенсивность радиации— количество энергии, которая пересекает данную площадь в единицу времени.

Инсоляция— термин, применяемый к солнечной радиации, получаемой земными или планетарными объектами.

Длинноволновая радиация— радиация, получаемая в виде тепла.

Коротковолновая радиация— радиация, получаемая при меньшей длине волн, чем тепловая радиация, т. е. инфракрасная, ультрафиолетовая, рентгеновская, и т. д.

Альбедо— часть радиации, падающей на несветящееся тело, диффузно отраженная этим телом.

Испарение— процесс превращения воды или льда в водяной пар. Количество воды или льда, претерпевшее такое превращение.

Транспирация— а) количество воды, поглощенной, транспирированной и использованной непосредственно на образование растительной ткани за определенный промежуток времени. Транспирация не включает испарение с почвы;

б) процесс, посредством которого водяной пар выделяется из растений, главным образом из листьев, и поступает в атмосферу.

Суммарное испарение (эвапотранспирация) — количество воды, потерянное с данной площади за определенный период времени путем испарения с водных поверхностей, с почвы и снега, путем транспирации растениями и при образовании растительных тканей. Суммарное испарение обычно включает потери на перехват.

1.3 Закономерности строения гидрографической сети

Исследованиями установлено, что речная сеть является результатом взаимодействия сложных физико-географических процессов:

климатических, гидрологических, геоморфологических и других, как своеобразный интегральный показатель этого процесса (Ржаницын,1960). Образовавшаяся речная сеть, характеристики основной реки и речного бассейна взаимосвязаны (Орлов, 1989). По соотношению ширины и длины бассейна можно составить представление о типовом (среднем) водосборе в рассматриваемом регионе.

Важной характеристикой развитости речной системы в регионе является *густота речной сети* (в км/км^2), которая характеризует среднее расстояние между смежными водотоками и среднюю длину склонов, необходимую при расчетах склонового стока.

Речная система состоит из главной реки и питающих ее различных притоков, каждый из которых течет по долине соответствующего ему размера. Существует две основные схемы деления рек на классы (порядки), позволяющие сравнивать осредненные значения морфометрических характеристик по порядкам: нисходящая и восходящая. Наиболее удачной, с нашей точки зрения, является нисходящая схема, при которой за притоки 1-го порядка принимаются самые верхние, неразветвленные звенья речной сети; слияние притоков 1-го порядка дает начало притокам 2-го порядка и т.д. При сохранении такой структуры Н.А.Ржаницын (1960) предлагает принцип строения речной сети, при котором между двумя притоками, сливающимися вместе, образуется третья река, представляющая физически совершенно новый русловой

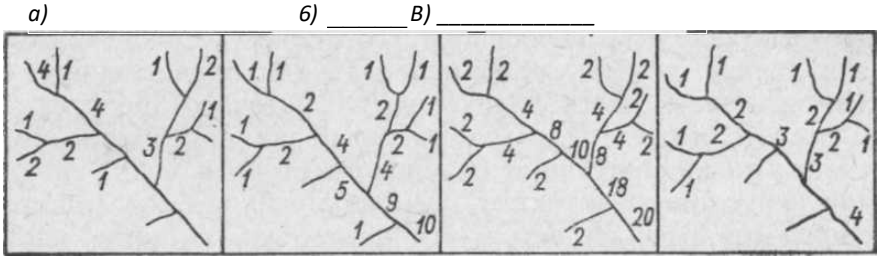


Рисунок 7 - Различные схемы установления порядков потоков речной системы:***а*** — Р. Хортон, б — Р. Шрове, ***в*** — А. Шейдегер, ***г*** — Ржаницын.(по Ржаницыну, 1985)

поток с новыми гидравлическими свойствами .

Для того чтобы получить основные характеристики потока и русла, проследить за их изменением при переходе от малых рек к большим (от потоков малых порядков к потокам больших порядков) и связями между ними, необходимо достаточно четко определить обоснованность принятия той или иной структуры речной сети (Ржаницын, 1960, 1985). К этому есть достаточно серьезные основания, так как если считать, что речная сеть является конечным звеном определенного физико-географического процесса (процесса взаимодействия климатических, гидрологических и геоморфологических комплексов), то понятие «структура речной сети» должно увязываться полностью и без каких-либо исключений с понятием «структура долинного рельефа».

Существует единый принцип построения схем и единые исходные положения при анализе взаимосвязанных явлений — структуры долин и структуры речной сети. Как отмечает Н.А.Ржаницын, геоморфологическое направление в изучении структуры речных систем (и долин), начиная с работы Хортона[2], получило достаточно широкое развитие в ряде работ последнего времени. Наиболее полное отражение этого направления мы находим в работах В. П. Философова(1980). Гидрологическое направление в анализе речной сети сформулировано Ржаницыным в 1952 г., и на его основе был получен ряд общих закономерностей и связей между различными факторами и характеристиками речного потока и речного русла. Не приводя обзора известных к настоящему времена предложений по структуре речной сети, в сводном виде показано на рис. 7, где для одной и той же речной сети показаны схемы установления порядков потоков по различным предложениям.

Первое, что вытекает из анализа приведенных схем, проведенного Н.А.Ржаницыным, это большое разнообразие подходов при установлении структуры речных долин и потоков речной сети. Однако, под-

[2]Хортон Р.Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. – Изд-во иностр. Лит. 1948. – 158 с.
Ржаницын Н.А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети.Л. Гидрометеоиздат, 1960. – 238 с.
Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек. Л.Гидрометеоиздат, 1985 – 263 с.

ходя к этому с позиций выявления физической основы, на которой устанавливается тот или иной порядок речных потоков (речных долин), то в этом случае выявляется только два подхода: 1) изменение порядка речной долины определяется слиянием двух равноправных по размерам и форме речных долин (основной принцип, характерный для геоморфологического направления); 2) порядок потоков речной системы изменяется при слиянии двух потоков, равных по водности (основной принцип, характерный для гидрологического направления в изучении структуры речной сети).

На первый взгляд, оба эти положения одинаковы, так как приводятся к простой и единой схеме — элементарная долина, в которую не впадает другая долина, называется долиной I порядка; две элементарные долины I порядка, сливаясь вместе, образуют долины II порядка и т.д.Однако, если в первом случае (геоморфологическое направление) этот принцип выдерживается строго по порядкам долин, т.е. две долины одного порядка, то во втором случае изменение порядка определяется достижением водности потока, равновеликой слиянию двух равноправных потоков. Так, впадение, например, в поток III порядка двух потоков II порядка приводит к возрастанию его водности до значения, равновеликого слиянию двух потоков III порядка, и в этом случае порядок потока должен возрасти.Можно считать единым мнением авторов, что неразветвленному потоку или долине присваивается I порядок.

Если речную систему рассматривать как определенную форму отражения естественного физико-географического процесса, то началом отсчета может являться только первичная долина как первичная форма концентрации склонового стока и первичного образования неруслового потока. С этим положением соглашается ряд геоморфологов. Речная сеть — это не только система постоянно действующих водотоков, но она должна включать и те временные (нерусловые) потоки, которые завершают процессы склонового стока и переносят размытый склоновый материал в постоянно действующие водотоки и речки. Поток (долина) I порядка является физической границей, разделяющей ручейковую склоновую сеть и речную сеть. Только так следует рассматривать реч-

ную сеть и только так устанавливается единство процесса формирования речного стока и рельефа суши. В этом проявляется и единство подхода гидролога и геоморфолога к изучению речной сети и речных долин.

Н.А.Ржаницын утверждает, что под порядковым номером потока понимается не просто цифровое обозначение данного участка реки, а речной поток, обладающий определенными физическими характеристиками, определенным комплексом этих характеристик. Эти взаимно связанные характеристики в комплексе определяют данный участок реки. Главной характеристикой, по которой строится вся система структуры сети, является водность потока — два сливающихся потока, одинаковых по водности, образуют новый поток более высокого порядка с новыми характеристиками (Ржаницын, 1985).

Рисунок 8 – Экспериментальное изучение стока и микроклимата на элементарных водосборах

Экспериментальное изучение формирования стока в точке бассейна позволяет определить в динамике отдельные элементы этого процесса и получить генетические формулы максимального стока. Ориентация в этом случае идет на максимальный сток, а эксперименты состоят в исследованиях впитывания или инфильтрации в почвогрунты.(рис.8)

Глава 2
МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Методика исследований стока на уровне речных водосборов

Физико-географические факторы, влияющие на величину и режим стока, подразделяются на факторы климатические и факторы подстилающей поверхности. Стокообразующие факторы (осадки, радиационный режим и др.) формируют различные виды стока (поверхностный, склоновый, грунтовый) и подчиняются закону географической зональности. Бассейны горных рек обычно охватывают две и более ландшафтно-климатические зоны.

Факторы подстилающей поверхности имеют обычно местное значение и относятся к разряду азональных факторов (сюда же относится и лесная растительность с разными видами хозяйственной деятельности). Интегральным показателем подстилающей поверхности является площадь водосбора. В горных районах для формирования речного стока существенное значение имеет высотное положение водосбора, характеризуемое средней высотой над уровнем моря. С этими двумя характеристиками связана величина глубины эрозионного вреза русла водотока, которая определяется как разность между средней высотой бассейна и средней высотой продольного профиля реки. От данного показателя зависит объем зоны дренирования речного бассейна (с возрастанием глубины эрозионного вреза возрастает сток).

Речной водосбор представляет собой сочетание различных элементов, для каждого из которых могут быть характерны процессы разных масштабов - от формирования стока на склоне до транзитного перемещения паводковой волны. Существует генетическая связь между величиной стока и площадью бассейна - с увеличением площади возрастает минимальный сток и уменьшается максимальный и средний за сезоны. При этом регулирующая емкость водосбора обусловлена не только размерами водосбора, но и его уклоном. Площадь водосбора сама по себе является регулятором стока: чем больше водосбор, тем

больше зарегулированность стока. В связи с этим, существует группа моделей для расчета среднегодовых величин стока на основе редукционных формул, где применяется понятие коэффициента редукции - коэффициента, характеризующего интенсивность изменения какой-либо величины с изменением другой, связанной с ней величины (например, уменьшение модуля стока с увеличением площади водосбора, уменьшение средней интенсивности дождя с увеличением его продолжительности).

По классификации А.М.Владимирова (1989), к **малым рекам** относятся реки, не полностью дренирующие водоносные горизонты, участвующие в питании водотоков данного региона, вследствие чего их модуль стока изменяется с увеличением площади бассейна. Сток малых рек формируется в значительной мере под влиянием местных условий.

Под **средними реками** понимают реки, полностью дренирующие питающие их водоносные горизонты, поэтому модуль стока таких рек слабо изменяется с ростом площади бассейна. Режим стока средних рек имеет зональные черты и формируется в однородных физико-географических условиях.

Большие реки формируют сток в различных географических зонах, и в пределах отдельных зон он часто имеет черты, не свойственные данной зоне.

Гидрологические процессы в малых речных бассейнах более зависимы от характеристик лесного массива, чем в бассейнах средних и больших рек.

Для горных условий нами предложен **принцип иерархичности генезиса** стока на водосборах. Он состоит в следующем. Процесс формирования стока в системе "климат-лес-воды" необходимо исследовать в динамике как по площади, так и во времени. Генезис стока в зависимости от площади можно разделить на***три уровня***:

а) формирование стока в точке бассейна (изучают на площадках размерами от десятых долей $м^2$ до сотен $м^2$);

б) формирование стока на малых (элементарных) водосборах, которые являются, как правило, первичной ячейкой гидрографической

сети, т.е. притоками первого порядка;

в) закономерности образования и режима стока на крупных речных системах, имеющих региональное значение.

Экспериментальное изучение формирования стока в точке бассейна позволяет определить в динамике отдельные элементы этого процесса и получить генетические формулы максимального стока. Ориентация в этом случае идет на максимальный сток, а эксперименты состоят в исследованиях впитывания или инфильтрации в почво-грунты на площадках размером от десятых долей $м^2$ (при применении инфильтрометров различных размеров и конструкций) до сотен $м^2$ (при использовании метода искусственного дождевания с дождевальными установками различных конструкций). Сюда же следует отнести, очевидно, устройство стоковых площадок разных размеров и назначений - для изучения склонового стока при естественных дождях. Однако, результаты этих экспериментов могут быть искажены вследствие балансовых различий на стоковых площадках в сравнении с естественным водосбором. Положительным фактором экспериментальных исследований на стоковых и инфильтрационных площадках является возможность охватить массовым материалом большие площади с разными условиями формирования стока, а к недостаткам этого метода относится: сравнительная относительность характеристик впитывания и стока, которая в зависимости от примененного оборудования может иметь большее или меньшее приближение к естественному процессу.

На основе анализа литературных источников и полученных многолетних экспериментальных данных предлагаются следующие теоретические положения, которые являются основой для практических рекомендаций по сохранению и улучшению гидрологического режима территорий, находящихся в хозяйственном обороте.

Влияние подстилающей поверхности на водный баланс склонов и гидрологический режим водотоков следует рассматривать на***различных уровнях***. Таких уровней должно быть *не менее трех*. Основным признаком разделения на иерархические уровни служит ***площадь водосбора***, что связано с влиянием этого параметра на генезис стока и

на стокообразующие факторы.

Первым уровнем следует считать сравнительно однородный участок горного склона (например, выдел),для которого характерным является отсутствие ручьевого стока (вследствие малой концентрации почвенно-грунтовых вод) и небольшая площадь - до 5-10 га.

Вторым уровнем является минимальный водосбор, входящий в гидрологическую сеть реки (приток 1-го порядка) - так называемый элементарный водосбор. Характерным признаком его следует считать четко сформированные геоморфологические условия водосбора - его границы, склоны различной ориентации, русло водотока, а также - наличие ручьевого постоянного или сезонного стока (в холодный период года); размеры его могут колебаться в различных природно-климатических зонах региона от нескольких десятков до нескольких сотен га; он может включать от 1 до 2-3 кварталов.

Третьим уровнем является водосбор реки, имеющей развитую речную сеть, устойчивый базисный сток, и впадающей непосредственно в море или в основные реки региона. Размеры таких бассейнов измеряются десятками и сотнями кв.км (т.е. сотнями и тыс.га). Характерными особенностями таких водосборов являются включения различных почвенно-климатических, геолого-геоморфологических лесорастительных условий, которые закономерно меняются по длине горной реки.

На уровне основных речных систем при изучении гидрологических функций горных экосистем использованы следующие методические особенности. Как известно, достаточно достоверных данных по всем элементам водного баланса для речных систем не имеется, поскольку неизвестна ни длительность изменений во времени элементов водного баланса, ни распределение их по площади (из-за чрезвычайно сложных взаимодействий факторов среды). Наиболее точными в расчете для речных систем являются величины стока (точность измерения $\pm$5%), и значительно менее точны данные об осадках (даже при наличии достаточно густой сети осадкомерных пунктов) - вследствие влияния орографии на ливневые осадки и случайности их распределения по площади и во времени)(Битюков, 2007).

Речной сток в теории гидрологии рассматривается как эргодический гармонизируемый процесс с годовым циклом. Нарушение эргодичности речного стока в основном вызывается хозяйственной деятельностью человека, в частности - изменением лесной растительности под влиянием рубок, лесовосстановления и т.д. При изучении гидрологических условий на водосборах следует иметь в виду нарушение эргодичности стока вследствие явления цикличности.

Под **цикличностью стока** понимают календарные группировки многоводных и маловодных лет. При наличии неизменных стокообразующих факторов в речных бассейнах, сток в речных бассейнах является детерминированной функцией. Задача определения водоохранной роли леса, т.е. влияния лесной растительности на формирование речного стока в горных экосистемах, состоит в выделении составляющей этой функции, зависящей только от наличия и состояния лесной растительности.

Методический прием, примененный нами, заключается в подборе пары водосборов, один из которых служит в качестве контроля для исследуемого водосбора с лесохозяйственной деятельностью. Отнесение стока (в любой фазе) исследуемого бассейна к аналогичному по фазе стоку в бассейне-аналоге при удачном подборе аналоговой реки должно исключить влияние сезонной и годовой цикличности стока. Исходными данными для этой цели служили среднемесячные расходы воды, пересчитанные в дальнейшей обработке в суммарные слои стока за различные периоды, при этом в расчет приняты временные рамки в виде гидрологических лет (с начала ноября начального года до конца октября последующего года).

Подобные методики использованы при анализе данных по осадкам на метеостанциях и постах региона.

На крупных речных системах в целях определения гидрологической роли лесных экосистем, включающих одну или несколько лесорастительных формаций, проводился сбор и анализ материалов по характеристике лесной растительности и режиму стока по данным лесоустройства и опорной сети наблюдений на реках Росгидромета.

Изменение структуры горных лесов на элементарных и речных водосборах в связи с лесохозяйственной деятельностью изучались на основании экспериментальных данных (по материалам закладки постоянных пробных площадей на лесогидрологических стационарах, включающих несколько элементарных водосборов с опытными рубками, а также по материалам лесоустройства отдельных лесохозяйственных предприятий (для речных водосборов основных рек региона).

Для указанных целей подбирали несколько водосборов с длительным периодом наблюдений за стоком воды и твердых наносов, на которых проводилась интенсивная лесохозяйственная деятельность. По данным учета лесного фонда и материалов лесоустройства определяли количественные характеристики состояния и изменения состава, строения и структуры насаждений, находящихся на водосборах (возраст, состав, доля вырубок, процент лесистости, по возможности - динамика лесопользования с учетом различных видов рубок). Указанные характеристики анализировали параллельно с анализом изменений режима речного стока на опорной сети Росгидромета, имеющихся на выбранных водосборах.

Достаточными характеристиками стока являются : математическое ожидание (или норма) стока, коэффициент вариации, коэффициент асимметрии и закон распределения **Ф(х).** В настоящее время получила распространение гипотеза о том, что между смежными значениями стока существует связь, которая может быть определена с помощью коэффициента корреляции. На этой основе для описания стока была предложена математическая модель в виде простой цепи Маркова. Количественно связь смежных значений оценивается коэффициентом корреляции внутрирядной связи.

Внутрирядная связь процессов среднего годового и максимального стока проявляется на большом временном интервале, превышающем 25-30 лет. Для учета ближних и дальних внутрирядных связей стала использоваться математическая модель по схеме сложной цепи Маркова, которой называется случайная последовательность X(t), где для каждого момента времени t существует вероятность любого со-

стояния системы в предшествующие моменты времени. Обычно при использовании этой математической модели принимается, что исследуемый процесс является стационарным и эргодическим (т.е. ряды значений стока подвергаются разложению на динамическую и некоррелированную случайную составляющие). Значения случайной составляющей за имеющийся период наблюдений рассчитываются как последовательность отклонений соответствующих значений стока от их динамических составляющих. Правильное отражение наблюдаемых в природе закономерностей чередования маловодных и многоводных лет - основное требование к модели.

Принципиальным моментом для концептуальных моделей является характер учета неравномерности входной информации и характеристик водосбора. В большинстве моделей не учтена в явном виде эта неравномерность, а реальный водосбор заменен эквивалентным однородным водосбором с постоянными интегральными характеристиками (модели с сосредоточенными параметрами). При этом параметры модели и входные данные должны быть репрезентативными для реального водосбора.

2.2 Методика экспериментального изучения стока на малых (элементарных) водосборах

На основе экспериментальных данных, полученных в результате мониторинга параметров лесной среды на площадях, подвергшихся лесохозяйственным воздействиям, разработаны математические модели, позволяющие прогнозировать состояние лесных экосистем в зависимости как от возраста и способов рубок, в том числе и технологических приемов, примененных при лесозаготовках, так и от климатических особенностей региона и сезонов года. Методически эти задачи решаются с применением стандартных компьютерных программ – Microsoft Office, Statistica, SPSS и других, доступных для исследователя. Применением той или иной программы определяется уровень сложности разрабатываемых аналитических и графических моделей. Зависимости статистически оценены в отношении достоверности получаемых ре-

зультатов.

Для исследования закономерностей пространственного распределения и повторяемости во времени гидрологических характеристик и выявления их эмпирических связей с определяющими факторами применяется статистический метод. Его применение основано на том, что многие 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, свойственных рядам таких гидрологических величин, осуществляется на основании использования теории случайных событий и теории вероятностных (случайных) процессов.

По теории случайных событий ряды изучаемых гидрологических характеристик рассматриваются как совокупность случайных величин без учета их временной (или пространственной) последовательности, и при этом совокупности случайных величин исследуют лишь средние характеристики массовых совокупностей в целом, опираясь на известные функции распределения вероятностей, характеризующие среднюю частоту повторения случайной величины при заданной вероятности P% (Чеботарев, 1978).

Экспериментальное изучение гидрологических свойств территории проводится двумя методами: ***стационарным и экспедиционным***, каждый из которых дополняет друг друга. ***Стационарным методом*** можно получить все элементы гидрологии района, но только для одного или нескольких водосборных бассейнов, что затрудняет распространение полученных данных на изучаемый район. ***Экспедиционным методом*** можно получить экспериментальные данные на больших площадях и в различных условиях, что позволяет более точно усреднить характеристики изучаемых параметров по площади. Однако количество характеристик, исследуемых этим методом, весьма ограничено.

2.3 Стационарное изучение склонового стока

Наибольшей сложностью из всех элементов водного баланса склонов характеризуются процессы формирования стока. Факторы, влияющие на формирование стока, делятся на группы: метеорологические (количество осадков и форма графика дождя), влияющие на динамику поступления воды в бассейн; условия подстилающей поверхности, которые определяют процессы инфильтрации и стекания воды, а также потери стока.

От метеорологических факторов зависит поступление воды на водосбор, динамика его во времени, а также количество поступившей воды. От факторов подстилающей поверхности зависят условия стекания воды, потери поверхностного стока, которые определяются характером почвы, водным балансом рассматриваемой территории, а также временем, необходимым для стока того или иного количества осадков, выпавших на бассейн. К числу факторов, влияющих на быстроту и продолжительность движения этих вод, относятся величина и форма бассейна, уклоны, русловые условия водотоков, длина и шероховатость склонов, связанная с характером растительности и микрорельефом.

Поскольку хозяйственная деятельность человека обычно затрагивает в основном растительность, почвы и микрорельеф водосборов, т.е. те факторы, которые влияют на перераспределение стока между быстрой (поверхностной) и медленной (грунтовой) составляющими, изучение процессов стока неразрывно связано с изучением инфильтрации. Сток и инфильтрация взаимосвязаны между собой, с одной стороны - как приходно-расходные части баланса, а с другой - инфильтрация определяет и регулирует сток, и наоборот, сток воздействует на инфильтрацию величиной залитой части бассейна.

Склоновый сток в горах, состоящий из поверхностного и внутрипочвенного, формируется за счет превышения интенсивности ливня над минимальным впитыванием. Организация наблюдений за стоком на горных экспериментальных водосборах состоит в выборе места для гидрометрического створа, выборе и расчете подходящего типа регист-

рирующего поста, строительстве и установке сооружений и приборов для учета стока.

Выбор места для замыкающего створа на водотоке определяется доступностью его для подъезда, прямолинейностью участка русла, удобством для проведения строительных работ. Выбор типа гидрометрического поста диктуется требуемой точностью учета расходов воды во всем диапазоне их применения. В горных условиях наиболее оправдано применение порогов - контролей в сочетании с гидрометрическими водосливами, или же отдельно водосливов и лотков. Наша практика показала, что для водотоков с максимальными расходами воды до 1,5 $м^3/с$ оптимальным вариантом является сооружение тонкостенных железобетонных водосливов с треугольным вырезом (угол выреза 45^0 или 90^0). Основными требованиями при проектировании и строительстве регистрационных гидрометрических сооружений являются: создание минимального подпора и аккумулирующего объема водохранилища; учет полного стока как при минимальных его величинах, так и при максимальных; возможность тарирования сооружения; непрерывность учета стока. В свете выполнения основных требований к гидрометрическим сооружениям (Чеботарев, 1960), рекомендуется использовать гидрометрические посты в виде тонкостенных треугольных железобетонных водосливов со ступенчатыми гасителями скорости течения и расширяющимся к сливному зубу верхним бьефом водослива. Регистрация уровней воды на таком водосливе производится самописцем уровня “Валдай”, устанавливаемом в будке над верхним бьефом водослива. При этом труба для поплавка самописца опускается из будки непосредственно в верхний бьеф водослива, и тем самым исключается дополнительная регулирующая емкость водохранилища. Тарировочные кривые для таких водосливов обычно совпадают с теоретическими, и достаточно устойчивы во времени.

Обычно в горных условиях экспериментальные водосборы приходится подбирать в малодоступных местах, поэтому следует предусматривать оборудование гидростворов как суточными самописцами, так и самописцами длительного действия (наиболее удобны самописцы

недельные). Наблюдения на гидростворах состоят в измерении уровней воды (один раз в сутки или неделю) и их непрерывной записи самописцами. Расходы воды определяются по переводной тарировочной таблице по измеренным уровням воды. Первичная обработка, а также формы журналов и лент приведены в соответствующих руководствах (Наставления гидрометстанциям и постам, 1952, 1957,1958, 1969)..

В период эксплуатации водосливы требуют очистки от наносов после прохождения больших паводков, и время от времени - тарировки объемным способом.

2.4 Экспедиционные исследования склонового стока методом искусственного дождевания

Организация постоянных наблюдений за склоновым стоком на малых водосборах имеет ряд серьезных недостатков, в числе которых основным является сложность строительства водосливов и организации постоянных наблюдений. В связи с этим, выбранные для исследований гидрологические объекты обычно немногочисленны, и поэтому должны обладать репрезентативностью получаемых результатов. Для изучения генезиса стока в различных условиях может быть применен способ искусственного дождевания склонов. При изучении склонового стока в горных условиях с использованием способа дождевания площадок (размерами не менее 100-300 м^2) без устройства боковой изоляции возможно несколько вариантов выбора элементарных водосборов:

При изучении склонового стока в горных условиях с использованием способа дождевания элементарных водосборов (100-300 м^2) без устройства боковой изоляции возможно несколько вариантов выделения элементарных водосборов:

- экспериментальный участок включает всю ширину небольшого естественного водосбора (лога) до водоразделов, при этом условием является отсутствие подтока грунтовых вод с другого бассейна;

- элементарный водосбор располагается на участке склона, сходящемся амфитеатром к месту выхода грунтовых вод (родник, ключ и т.п.);

- в качестве элементарного водосбора выбирается участок, распо-

лагающийся выше естественного или искусственного обнажения; боковое растекание регистрируется в этом случае на обнажении (волоке, дороге и т.п.).

По нижней границе участка, намеченного к дальноструйному дождеванию, устраивается водосборная траншея, врезанная до относительного водоупора и имеющая длину, достаточную для перехвата вод бокового растекания с площадки. Подача воды при искусственном дождевании производится мотопомпами, располагаемыми около источника воды. На склон, подвергаемый дождеванию, вода подается по пожарным рукавам, при этом величина расхода воды регулируется оборотами двигателя. Количество поданной воды измеряется одним или несколькими водомерами, устанавливаемыми на пожарных шлангах. Дождевание площадей производится с помощью распылителей РСБ-2. Для сбора стекающей воды в стенке траншеи устраивается лоток. Количество воды, стекающей по лотку и водоприемной траншее, измеряется объемным способом тарированными емкостями.

По окончании дождевания производится инструментальная съемка участка и его подробное описание. В описании дается характеристика рельефа, почвенного покрова, особенностей проведения опыта, возникновения склонового стока, бокового растекания и др.

Способы обработки полученной информации подробно изложены в методической литературе (Бефани, 1958, 1966, Битюков, 1958, 2007).В результате обработки полученной информации вычисляется средняя интенсивность дождевания, количество осадков за дождь, средняя величина стока за паводок, коэффициент стока и величина инфильтрации в почвоподстилающие грунты.

2.5 Инфильтрационная съемка склонов

Более облегченной методикой изучения одного из параметров образования склонового стока – инфильтрации в почвоподстилающие грунты – является инфильтрационная съемка склонов. Под ***инфильтрацией*** понимается процесс смачивания, проникновения и дальнейшего передвижения выпадающих осадков и талых вод в почву под влиянием

молекулярных и гравитационных сил. Для изучения инфильтрации широко применяются инфильтрометры различных конструкций. Теоретические вопросы использования инфильтрометров в горных районах подробно освещены в работах А.Н. Бефани и др. (1956-1960).

При изучении инфильтрационной способности почвогрунтов в качестве инфильтрометров нами были использованы кольца стальной трубы диаметром 250-300 мм и высотой 500-900 мм, с заточкой нижней кромки кольца. Учет объема впитавшейся воды производится по игольчатому реперу, устанавливаемому внутри кольца. Инфильтрометры, заглубленные в относительныйводоупор, дают реальную величину инфильтрации всей почвенной колонкой. При постановке опытов на промежуточных горизонтах получают участки кривой инфильтрации в интервалах времени от просачивания воды сверху к соответствующему горизонту. Послойное определение впитывания, давая кривую инфильтрационной способности почвы, позволяет определить как слой первоначального объема потерь, так и ход последующего водообразования.

Постановка опытов по определению впитывания инфильтрометрами заключается в следующем: металлические кольца, заточенные с нижней стороны, устанавливаются на поверхность почвы и забиваются на глубину 30-50 см. После забивки почвенный слой по внутренней кромке кольца промазывается “жирной” глиной для исключения пристенной фильтрации. При забивке можно применять устройства типа облегченного копра с направляющими приспособлениями. В начале опыта в кольцо заливается измеренный объем воды до уровня репера. В процессе фильтрации после прокола поверхности воды острием репера производится учитываемый объем долива воды и измеряется время до очередного прокола. Если в первом опыте на площадке инфильтрометр был заглублен не до водоупора, производится второй и последующие опыты со снятием верхнего почвенного слоя. В таком случае опыты на промежуточных горизонтах позволяют получить участки инфильтрационной кривой в интервалах времени от просачивания воды сверху к соответствующему горизонту до опускания фронта впитыва-

ния к нижней кромке кольца.

Инфильтрационная съемка склонов или небольших водосборов состоит в том, что площадки с инфильтрометрами располагаются на склоне или на водосборе статистически равномерно (по профилям) с тем, чтобы можно было получить вариационный ряд значение инфильтрации для поверхностных горизонтов и почвоподстилающих пород. Анализ данных инфильтрационных съемок заключается в математической обработке полученных рядов впитывания и определении осредненных его величин,

Год, выводные характеристики за весь период наблюдений	Средний месячный расход воды, м³/с												Средний годовой расход воды, м³/с	Средний годовой модуль стока, л/с × × км²)	Годовой слой стока, мм	Годовой объем стока, млн. м³	Характерные расходы воды			
																	наибольший		наименьший	
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12					м³/с	дата	м³/с	дата
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
96. р. Псяй – с. Тух-Аул. Площадь водосбора 20,4 км². 1946–80 гг.																				
1976	2,19	1,07	1,76	2,73	1,93	1,15	0,48	0,69	1,01	0,60	0,52	1,07	1,27	62,3	1961	40,2	36,8	23.08	0,24	11–21.08 (9)
1977	0,79	1,86	1,86	1,96	0,97	0,49	0,47	1,20	0,83	0,58	1,17	1,18	1,10	53,9	1471	34,7	46,2	17.08	0,12	15,16.08
1978	1,53	1,82	1,03	1,47	0,86	0,52	0,20	0,34	0,48	0,47	0,25	2,30	0,94	46,1	1471	29,6	19,1	30.09	0,18	28.06–30.09 (46)
1979	2,39	1,75	0,73	0,95	0,33	0,19	0,21	0,17	0,12	0,11	0,49	1,50	0,74	36,3	1143	23,3	19,8	03.01	0,074	06.09–19.10 (37)
1980	1,28	0,56	0,86	1,73	1,15	0,49	0,20	0,13	1,66	1,60	2,62	2,08	1,20	58,8	1961	37,9	30,8	18.09	0,060	12,13.09
Средн.	1,69	1,74	1,87	1,93	1,24	0,76	0,53	0,49	0,53	0,75	1,34	1,73	1,22	59,6	1877	38,3	29,9	—	0,16	—
Наиб.	4,85	3,49	3,24	3,38	2,77	3,29	2,06	1,84	1,66	2,06	7,60	3,56	1,74	85,3	2687	54,9	(88,7)	26.06.56	0,31	16.08–16.10.58 (10)
Наим.	0,79	0,56	0,73	0,64	0,33	0,19	0,12	0,088	0,080	0,11	0,12	0,48	0,74	36,3	1143	23,3	11,2	05.01,29.09.68	0,048	03.09.68
97. р. Западный Дагомыс – пос. Дагомыс. Площадь водосбора 49,0 км². 1974–80 гг.																				
1976	5,29	2,00	4,08	3,40	3,38	2,58	1,66	0,35	1,27	0,68	0,62	2,21	2,29	46,7	1429	72,4	39,8	03.06	0,083	28,31.07
1977	1,51	4,08	3,75	4,40	1,28	0,87	0,53	3,08	2,29	2,06	3,60	3,30	2,56	52,2	1633	80,7	118	17.08	0,070	11.08
1978	3,69	3,97	1,83	3,60	1,98	1,16	0,68	1,88	1,37	1,18	0,69	7,88	2,49	49,6	1633	78,5	70,0	21.02	0,19	09.09
1979	4,83	4,05	1,53	1,62	0,43	0,24	0,54	0,33	0,36	0,45	1,85	5,56	1,82	37,1	1169	57,4	47,4	04.01	0,11	18.10–23.11 (3)
1980	2,78	1,79	2,48	4,93	2,81	0,92	0,31	0,29	7,72	3,89	12,1	8,39	4,03	82,2	2653	127	315	18.09	0,10	26,27.07
98. р. Сочи – с. Пластунка. Площадь водосбора 238 км². 1927–80 гг.																				
1976	16,5	9,73	20,3	44,6	30,3	26,1	9,50	8,09	12,8	10,5	6,45	15,5	17,5	73,5	2311	553	177	02.06	3,80	12.08–25.11 (12)
1977	9,27	24,9	21,2	28,0	13,8	11,0	7,31	27,6	16,5	11,3	21,1	17,8	17,5	73,5	2311	552	341	17.08	2,80	11–16.08
1978	18,7	29,5	18,7	26,3	20,1	14,8	5,40	9,93	15,7	12,8	5,26	29,9	17,3	72,7	2269	546	610	10.09	3,26	29.07–15.08 (5)
1979	31,2	29,7	16,0	21,7	15,2	4,96	4,32	2,01	1,66	2,01	12,0	27,3	14,0	58,8	1852	442	248	03.01	1,00	03–20.10 (10)
1980	29,1	7,70	19,4	37,8	43,3	16,2	4,83	3,95	40,2	33,4	42,6	18,6	24,8	104	3277	784	649	16.11	0,20	15.09
Средн.	16,4	17,0	20,5	28,1	22,3	13,5	8,76	7,52	8,04	11,3	15,2	19,2	(15,7)	66,1	1906	497	263	—	2,53	—
Наиб.	44,5	37,2	42,5	58,7	44,7	36,9	21,1	27,6	40,2	33,4	45,8	41,4	24,8	104	3277	784	649	16.11.80	4,25	31.12.72
Наим.	3,27	3,88	9,09	10,4	9,47	4,33	2,40	1,84	1,66	2,01	2,10	5,11	9,10	38,2	1203	287	(68,6)	19.12.28	0,20	15.09.80
99. р. Сочи – г. Сочи[1]. Площадь водосбора 296 км². 1944–80 гг.																				
1976	18,6	8,12	21,5	41,7	26,5	18,6	6,10	4,98	8,76	5,96	4,15	10,2	14,6	49,4	1560	462	176	02.06	1,00	05.08
1977	6,57	20,0	18,7	23,6	11,0	6,21	4,04	25,0	18,1	13,8	18,4	15,3	15,1	51,0	1622	476	286	17.08	1,00	04.08
1978	18,5	26,0	17,0	23,4	17,8	11,9	2,93	7,12	13,6	17,6	6,79	35,9	16,5	55,1	1757	520	766	10.09	0,60	31.07
1979	31,5	29,2	13,1	18,9	13,1	3,87	3,73	1,64	0,97	1,11	9,77	24,1	12,6	42,6	1342	397	246	04.01	0,28	06.10
1980	15,2	7,44	12,7	27,9	22,7	9,23	3,38	2,71	29,3	21,2	35,4	21,9	17,5	59,1	1858	553	447	16.11	1,20	24.07
Средн.	19,6	19,8	21,4	27,7	21,2	12,8	7,66	6,83	7,72	10,0	16,1	21,0	(16,0)	54,0	1702	505	326	—	1,57	—
Наиб.	55,9	43,0	37,5	48,1	45,2	37,5	19,3	25,0	29,3	28,3	51,6	42,8	27,2	71,6	2255	669	766	10.09.78	4,20	05–12.09.56
Наим.	6,57	7,02	8,84	14,8	9,57	2,94	1,34	1,00	0,88	1,11	2,26	7,00	10,2	34,4	1084	322	104	06.12.59	0,28	06.10.79
100. р. Хоста – пос. Хоста. Площадь водосбора 98,5 км². 1936–80 гг.																				
1976	9,08	4,36	8,21	8,23	4,56	6,60	3,18	4,30	5,24	2,81	2,02	3,91	5,21	52,9	1624	165	210	23.08	1,17	14–25.11
1977	3,78	7,66	7,93	8,39	4,06	2,18	3,56	8,58	5,88	4,02	7,77	4,97	5,73	58,2	1827	181	235	26.08	0,90	10–16.08
1978	8,21	7,67	5,88	7,75	3,90	3,83	2,32	4,73	2,82	3,91	2,33	15,3	5,72	58,1	1827	180	128	21.02	2,00	11.07–01.12 (92)
1979	11,0	9,33	4,70	4,15	2,17	2,34	3,33	2,55	1,97	1,46	3,45	8,70	4,60	46,7	1471	145	121	04.01	1,30	22.09–23.11 (48)
1980	6,84	3,34	5,67	11,7	6,62	3,02	1,84	1,95	12,7	6,84	11,2	6,97	6,56	6,66	2132	207	360	16.11	1,30	15.07–05.09 (26)
Средн.	7,21	7,43	7,46	6,79	3,96	3,31	2,66	2,45	2,79	3,84	5,04	7,17	(4,98)	50,5	1592	157	175	—	0,93	—

Рисунок 9 – Пример исходных опубликованных Рогидрометом материалов по стоку рек, полученных на опорной сети

Глава 3
КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАВКАЗА

3.1. Географическое положение и морфометрия

Восточное побережье Черного моря расположено между 41° 30' с.ш. и 45° 07' с.ш. На юге и юго-востоке района располагаются горные массивы Главного Кавказского хребта с высотой вершин превышающей 3000 м. Между хребтами Большого и Малого Кавказа расположена Рионская низменность. Ледники и вечные снега Кавказа дают начало большому числу малых и крупных горных рек. Кавказские реки, имея на большом протяжении перепады высот в десятки метров на километр, смывают с гор огромное количество наносов. Средний общий объем стока Кавказских рек, впадающих в Черное море, составляет 28.4 км^3/год. Наибольший вклад вносят такие реки как Бзыбь, Риони, Ингури, Кодори, Чорохи, на долю которых приходится 79% от общего стока рек восточного побережья.

В направлении с юго-востока на северо-запад высота гор постепенно уменьшается и севернее Туапсе уже не превышает 700 м. По мере приближения к Тамани происходит постепенное понижение рельефа. Местность представляет почти ровную степь. На севере границей района служит Керченский пролив. Приток из Азовского составляет 50 км^3.

Береговая линия восточного побережья мало изрезана; наиболее крупные бухты – Новороссийская (Цемесская) и Геленджикская. Изобата 200 м проходит параллельно берегу на расстоянии от 200м (Имеретинская бухта) до 10 км в районе м. Утриш. Наиболее мелководной (глубины менее 50 метров), является северная часть восточной зоны Черного моря (район Анапа - Тамань).

3.2. Характеристика климата района

Расположение Черного моря в относительно низких широтах обусловливает интенсивный приток солнечной радиации. В связи с этим, характерной особенностью климата моря является обилие солнечного света и тепла. Оценки теплового баланса Черного моря были выполнены Ю.В.Макеровым (1961). На основании расчетов можно выделить две зоны: южная, в которой поверхность моря в течение года получает тепла больше, чем отдает (положительный тепловой баланс), и северная, с отрицательным балансом. Граница между зонами (нулевая изотерма) проходит примерно по 44°00 с.ш. Поверхность моря в среднем в течение года получает от Солнца - 104 ккал/см^2 . Наибольшая часть тепла приходится на весенне-летний период - 76.3 ккал/см^2 . Преобладающую часть тепла море теряет в осенне-зимние месяцы, но в целом поступление тепла превышает его расход, что обеспечивает положительный тепловой баланс. Разница между поступлением и отдачей тепла для всего моря составляет примерно 0.7 Вт/(м^2 год). Продолжительность солнечного сияния для восточной зоны в сумме составляет 2000-2400 часов в год .(табл. 1).

Таблица 1- Годовой ход различных метеорологических элементов на Черноморском побережье Кавказа.

Месяцы Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Число часов солнечного сияния													
Новороссийск	114	105	155	179	245	274	314	312	252	178	132	82	2342
Туапсе	119	83	156	176	240	302	335	331	242	201	145	96	2426
Сочи	112	77	118	142	229	287	334	334	225	191	133	89	2271
Количество осадков (мм)													
Новороссийск	74	82	52	51	44	55	74	47	59	52	87	89	766
Туапсе	125	136	89	74	56	82	123	95	103	114	147	153	1297
Сочи	148	149	102	96	77	81	95	86	131	132	165	177	1439

Лето длится около пяти месяцев, зима - около трех. Зима редко бывает устойчивой. Среди зимы, почти ежегодно, бывают оттепели, температура воздуха повышается до 10-15°С.

3.2.1. Синоптические условия

Циркуляции атмосферы над бассейнами Черного моря и Кубани присущи черты меридиональной направленности на фоне общего зонального переноса над Европой. Это связано, главным образом, с влиянием акватории Черного моря на термическое состояние нижнего слоя тропосферы над ним. Как показывают средние карты барической топографии, у восточных берегов в холодное время года в средней тропосфере прослеживается высотный гребень, существование которого связано с более высокой температурой морской воды относительно континента. В летние месяцы, когда суша сильно прогревается, над Черным морем и горными районами преобладает высотная ложбина, а иногда и циклон (Г.Р. Пикерсгиль, 1976). Преобладающими воздушными массами являются массы континентального воздуха умеренных широт. Приходящие извне воздушные массы атлантического, арктического и тропического происхождения, обычно, в значительной мере трансформированы.

В процессе движения и развития циклонические и антициклонические образования, воздушные массы и фронты испытывают непрерывное воздействие подстилающей поверхности. Холодный воздух легко проникает в бассейн Кубани, поскольку к северо-западу , северу и северо-востоку от него нет значительных горных препятствий. Горные массивы Кавказа, почти полностью приостанавливая движение холодного воздуха к югу, способствуют накоплению его перед горами и увеличению его вертикальной мощности. Свободно распространяется на бассейн Кубани и теплый воздух с юга и юго-запада, довольно легко преодолевая горные хребты, особенно севернее Туапсе, где высота их невелика. При прохождении через более высокие горные системы, располагающиеся южнее Туапсе, на температуре и влагосодержании

теплого воздуха в значительной мере сказывается фёновый эффект. Фёновые явления способствуют быстрому сходу снега весной и соответственно увеличению паводка на реках.

В холодное время года, вследствие увеличения термических различий между полюсом и экватором, наиболее ярко выражен общий западный перенос в атмосфере над Европой. Однако планетарная высотная фронтальная зона (ПВФЗ).вдоль которой перемещаются барические образования, обычно проходит значительно севернее и лишь в отдельные периоды опускается южнее пятидесятой параллели. В таких случаях атлантические циклоны и их фронтальные разделы оказывают влияние и на Северный Кавказ, на его территорию распространяются массы теплого атлантического воздуха (Пикерсгиль, 1976). Из антициклонических воздействий наиболее часты вторжения холодных масс воздуха из Казахстана в системе отрога Сибирского максимума и арктические вторжения по полярной и ультрополярным осям.

Большое значение для климата моря имеет существование в холодное полугодие квазистационарной Черноморской депрессии термического происхождения. Проходящие средиземноморские циклоны, приносят теплый влажный воздух, осадки, сильные порывистые ветры южных румбов.

Доступность района исследований как для холодных, так и для теплых воздушных масс, и расположение его на границе между теплыми южными морями и холодным континентом определяет резкие изменения погоды и большие колебания температуры, как в течение конкретного месяца или сезона, так и на протяжении ряда лет.

Взаимодействие теплого морского воздуха и холодного континентального, а также влияние орографии, создают большие перепады температуры в районе Черного моря и Кавказа, что часто приводит к образованию новых циклонических возмущений над Черным морем и Северным Кавказом. Образование циклона над Черным морем, при одновременном продвижении циклона над центральными областями европейской территории России (ЕТР), зачастую сопровождается формированием деформационного поля с гиперболической точкой в районе

Новороссийск - Горячий Ключ - Туапсе и стационированием здесь обостряющегося фронта. В таких случаях, в юго-западной части Краснодарского края наблюдаются интенсивные и продолжительные дожди и снегопады. Дожди, особенно, если им сопутствуют резкое потепление и таяние снега, выпавшего ранее, вызывают резкий подъем уровней рек, впадающих в Черное море.

Циркуляция воздуха над территорией бассейна во многом определяется сопряженной зависимостью между Черноморской депрессией и отрогом Сибирского антициклона или антициклонами, формирующимися над ЕТР. Результатом является большая повторяемость восточных ветров на Черноморском побережье в районе Анапа - Туапсе.

В теплое время года сглаживание термических различий, уменьшение горизонтального барического градиента ведет к ослаблению зональной циркуляции. Основной летний процесс - прогревание континентального воздуха над сушей. Массы такого сильно прогретого воздуха занимают большую часть Краснодарского края. В общем, летом воздействие континента на погоду и климат моря носит преобладающий характер, чем в другие сезоны. Переходным сезонам - весне и осени, в большей или меньшей степени присущи почти все черты как зимней, так и летней циркуляции атмосферы.

3.2.2. Ветровой режим

Сильные южные и юго-западные ветры (более 15 м/с) возникают над морем, главным образом, при прохождении передней части развивающейся ложбины, направленной с Балтийского моря на Балканы. Западные и северо-западные штормовые ветры наблюдаются иногда при смещении ныряющих циклонов с южных районов Скандинавии на Украину. Особенно сильные ветры отмечаются при прохождении по югу Украины глубоких циклонов. При этом западный ветер по мере продвижения циклона к востоку сменяется на северо-западный. Иногда западные штормовые ветры возникают в тыловой части средиземноморских циклонов, смещающихся через Черное море.

Осенью на побережье преобладают северо-восточные ветры. Скорость ветра увеличивается с юго-востока на северо-запад. Для Сочи среднемесячная скорость ветра составляет 3 м/с, а для Анапы-Новороссийска–6 м/с. Штормовые ветры в осенний сезон наиболее часты в районе Тамани-Туапсе. Число дней с сильным ветром составляет 3-6 дней в месяц. Зимой частое стационирование холодных антициклонов над Казахстаном и наибольшая выраженность черноморской депрессии определяют преобладание над северной частью восточного побережья восточных ветров, приносящих сильно выхоложенный воздух. Повторяемость ветров с моря как бризовых, так и ветров общей циркуляции зимой сильно уменьшена. Над южной частью господствуют северо-западные и юго-восточные ветры. Средняя скорость их в районе Сочи – Пицунда составляет 6 м/с, средняя скорость северо-восточных ветров здесь не превышает 2 м/с. Отличительной особенностью ветрового режима весеннего сезона является увеличение повторяемости западных и юго-западных ветров. В конце весны и в первой половине лета возрастает повторяемость процессов западной, атлантической адвекции. Возрастает доля ветров западной четверти, приносящих относительно прохладный и влажный воздух. Западные ветры в ходе лета чередуются с сухими и жаркими суховейными восточными и юго-восточными ветрами. Во второй половине лета повторяемость ветров восточной четверти возрастает.

Летние месяцы на Кавказском побережье характеризуются усилением бризовой циркуляции. Бризовая циркуляция обычно развивается на фоне слабо-градиентного барического поля при устойчивой антициклонической погоде. Годовая повторяемость бризов на побережье увеличивается с севера на юг, от 18 до 50 дней. Немаловажную роль здесь играет орография. Северо-западный отрог Главного Кавказского хребта, задерживающий проникновение северных, северо-восточных и восточных ветров на побережье, способствует развитию бризовой циркуляции.. Наоборот, в той части восточной зоны Черного моря, которая граничит с Рионской низменностью, бризы отмечаются сравнительно редко (район Поти). Преобладающим направлением морского бриза яв-

ляется западное, северо-западное, берегового – северное и северо-восточное. Только в районе Новороссийска морской бриз направлен с юго-востока, а береговой с северо-запада. Береговой бриз слабее морского, так как ночные контрасты температур между сушей и морем значительно меньше дневных. В море береговой бриз распространяется на расстояние до 8-10 км. На отдельных участках побережья, там где горы близко подходят к берегу, в прорезающих их речных долинах на бризовую циркуляцию накладывается горно-долинная. В районе Анапа – Новороссийск - Туапсе при поступлении через горы холодного воздуха отмечается сильный ветер северо-восточного направления –"бора". Скорости ветра как правило превышают 15м/с, в отдельных случаях свыше 40 м/с. Южнее Туапсе бора не прослеживается . Вглубь моря она не распространяется далее 10 км.

3.2.3 Температура воздуха и поверхностного слоя воды

Средняя годовая температура воздуха на большей части акватории Черного моря колеблется в пределах 9-11°С. Длительность безморозного периода составляет на восточном побережье 7-8 месяцев. Осенью, до ноября сохраняется высокая температура воздуха (14°-16°С). Лишь в середине ноября температура воздуха устойчиво переходит через 10°С. Заморозки начинаются в районе Анапы-Новороссийска в начале ноября, а в Сочи в середине декабря. Дней с отрицательными средними суточными температурами в Новороссийске насчитывается в среднем 20 за зиму, в Сочи – 4. Средняя температура вдоль побережья в январе колеблется в пределах 3-6°С. Однако в отдельные аномально холодные зимы в Сочи отмечались похолодания до -13°С, а в Анапе и Новороссийске абсолютный минимум составляет -24°С и -26°С. Весна начинается очень рано. Уже к марту воздух прогревается на 3-4°С. Последние весенние заморозки оканчиваются в северной части Кавказского побережья в конце марта, а в Сочи - в начале первого месяца весны.. В конце марта –начале апреля температура воздуха устойчиво переходит через 10°С. Вследствие охлаждающего влияния моря весенний

рост температуры воздуха на побережье относительно замедлен. Летом воздух прогревается до 27-30°С. Максимум значений приходится на июль-август. В июле средний градиент температуры направлен с северо-запада на юго-восток.

Среднегодовая температура поверхности моря, равна 15.7°С. Вследствие неравномерного прихода и расхода тепла, температура морской воды в прибрежной зоне подвержена довольно значительным колебаниям как в течение года, месяца, суток, так и от года к году. Хорошо выражен годовой ход с минимумом в феврале (7-8°С) и максимумом в августе (24-26°С). Температура верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) в течение года сохраняет тенденцию роста в направлении с северо-запада на юго-восток. В холодное полугодие поверхность моря теплее воздуха. На северо-востоке разность температур вода-море превышает 4°С, на юго-востоке не более 2°С. В марте в районе Батуми-Сухуми отмечаются области с отрицательной разностью температур. К маю воздух на всем протяжении Кавказского побережья теплее поверхностного слоя. В июле-августе на юго-востоке моря на фоне отрицательных температур появляются области где температура поверхности моря выше температуры воздуха (Плахин, 1989)..

Анализируя изменение среднегодовой температуры воздуха над районом восточного побережья Черного моря, необходимо отметить, что после абсолютного минимума в 1945 году, когда среднегодовые значения были на 1.6-1.8 °С ниже нормы, наступил период неустойчивого термического режима. С 1946 по 1959 гг. отмечались частые переходы от положительных к отрицательным отклонениям, хотя в целом указанный период можно считать близким к среднему многолетнему. С 1960г. среднегодовая температура стала выше нормы. Выделенный тренд показывает устойчивую тенденцию к потеплению. В этот продолжительный период (32 года) в отдельные годы (1964, 1976, 1987, 1993) наблюдалось понижение среднегодовой температуры воздуха, но потепление выражено столь ярко, что положительные отклонения среднегодовых температур значительно превысили отрицательные. На этот период приходятся и самые высокие аномалии среднегодовых

температур воздуха. Так, в 1966г. положительные отклонения достигали 2.5-2.8° С, в 1981 г.- 2.0-2.2° С, в 1995г. - 1.4-1.9°С.

3.2.4 Осадки

Основное количество осадков, выпадающее на восточном побережье в холодное время года, приносят юго-западные потоки влажного теплого воздуха со Средиземного и Черного морей. Встречаясь с Кавказским хребтом, такой поток большую часть влаги оставляет на наветренных склонах гор, притом тем больше, чем больше высота орографического препятствия, которое преодолевает поток. Максимум осадков приходится на ноябрь-февраль.

В теплое время года над Европой преобладает циклоническая деятельность и влагонесущие потоки направлены не только с Черного моря но и с северо-запада и севера. Поскольку формирование облачности и осадков в большей степени определяют конвективные процессы, значительную роль в распределении осадков играют форма рельефа и экспозиция склонов. Орографические препятствия интенсифицируют процессы облакообразования на холодных фронтах и усиливают конвективные явления в вследствие неравномерности прогрева различно экспонированных горных склонов. В результате наибольшее количество осадков выпадает в районе Туапсе-Адлер - до 800-1000 мм за теплое время года. Пик приходится на июль. Внутригодовой режим и изменчивость осадков представлены в таблице 1.

При рассмотрении изменения среднегодовых сумм осадков за 52-летний период можно выделить несколько противоположных по знаку периодов с большим и малым количеством осадков. К 1951 году закончился сухой период, когда в среднем годовое количество осадков было на 7% ниже нормы. В 1949 г. количество осадков составляло 79% норм. Период с 1951. по 1959 гг. можно охарактеризовать как близкий к среднему многолетнему. Увеличение количества осадков отмечается с 1960 г. Наиболее влажными за рассматриваемый период наблюдений были 1987г., 1988г., 1995г., когда количество осадков со-

ставляло 138-144 % от нормы.

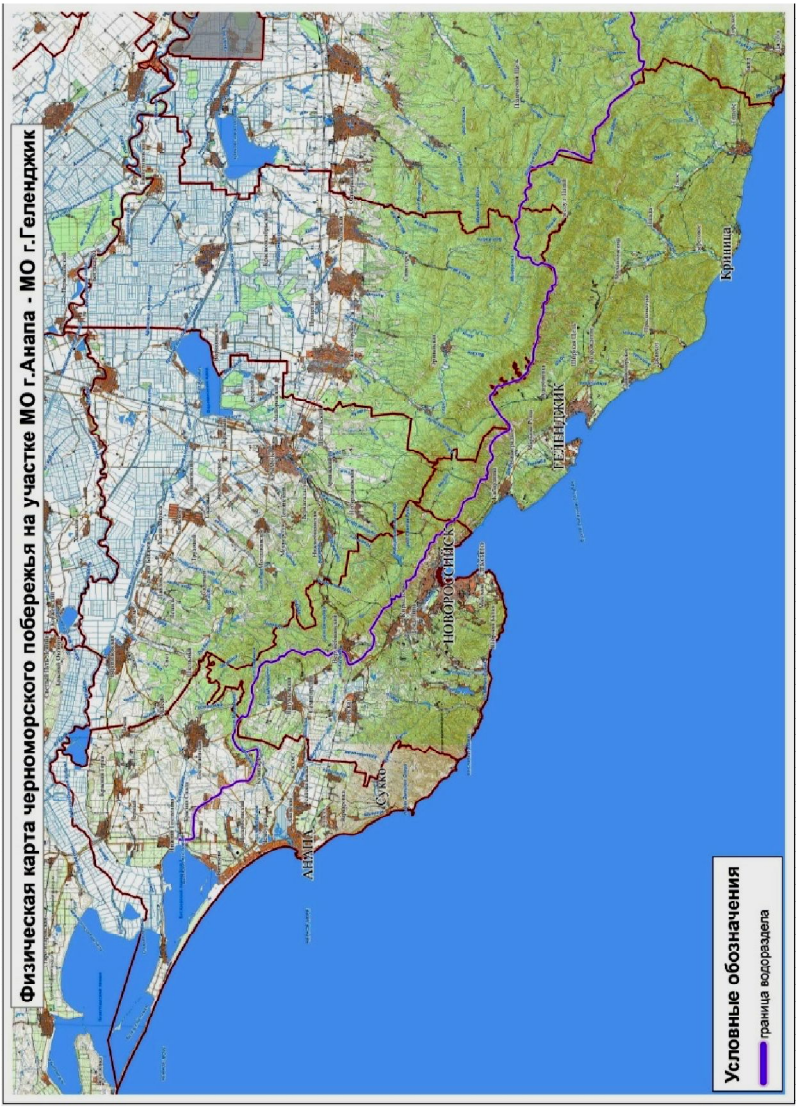


Рисунок 10 – Физическая карта северо-западной части региона (Анапа - Геленджик)..

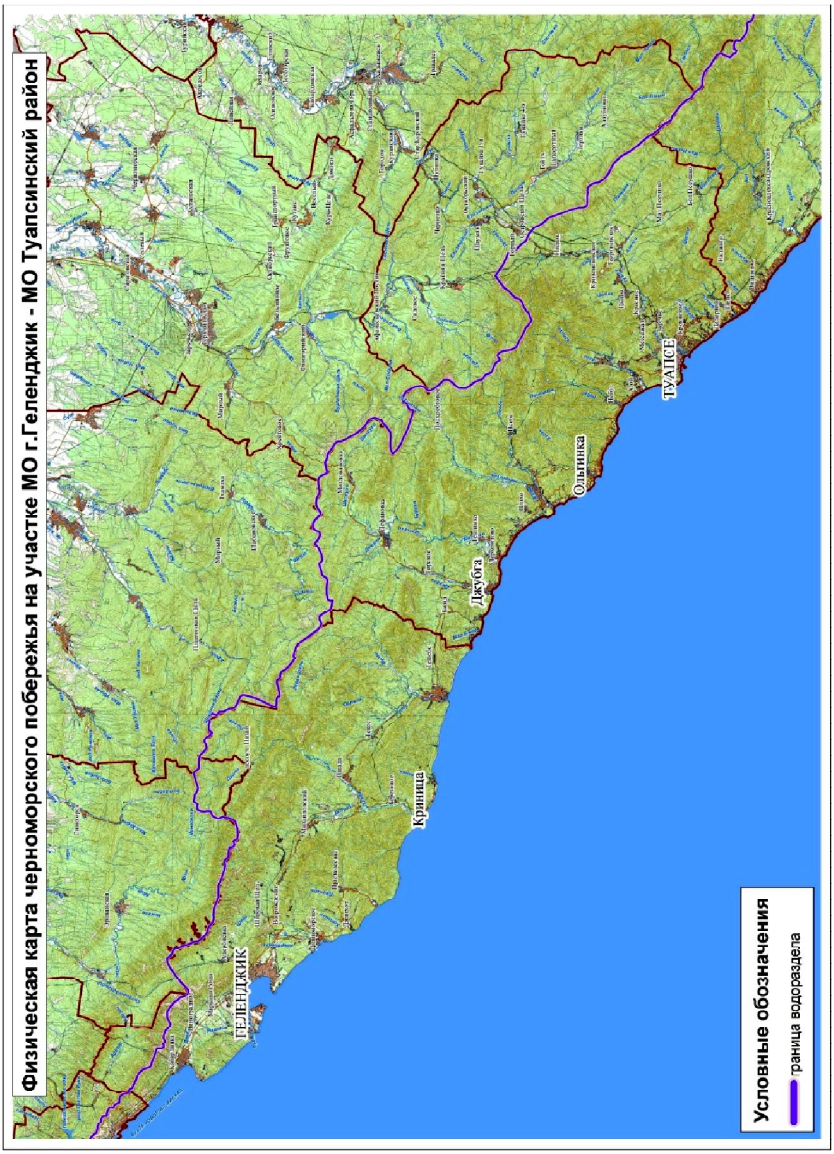


Рисунок 11 – Физическая карта северо-западной части Черноморского Побережья Кавказа (Геленджик - Туапсе).

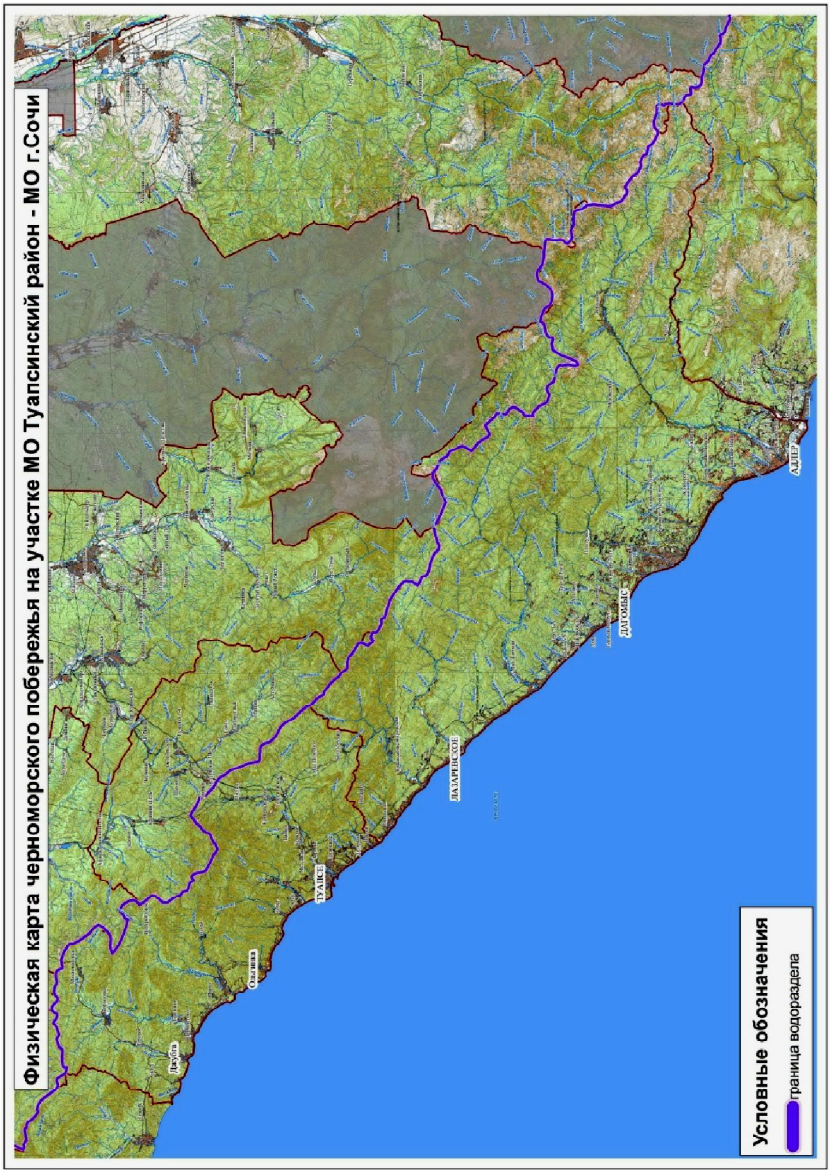


Рисунок 12 – Физическая карта юго-восточной части Черноморского побережья Кавказа (Туапсе –Сочи)..

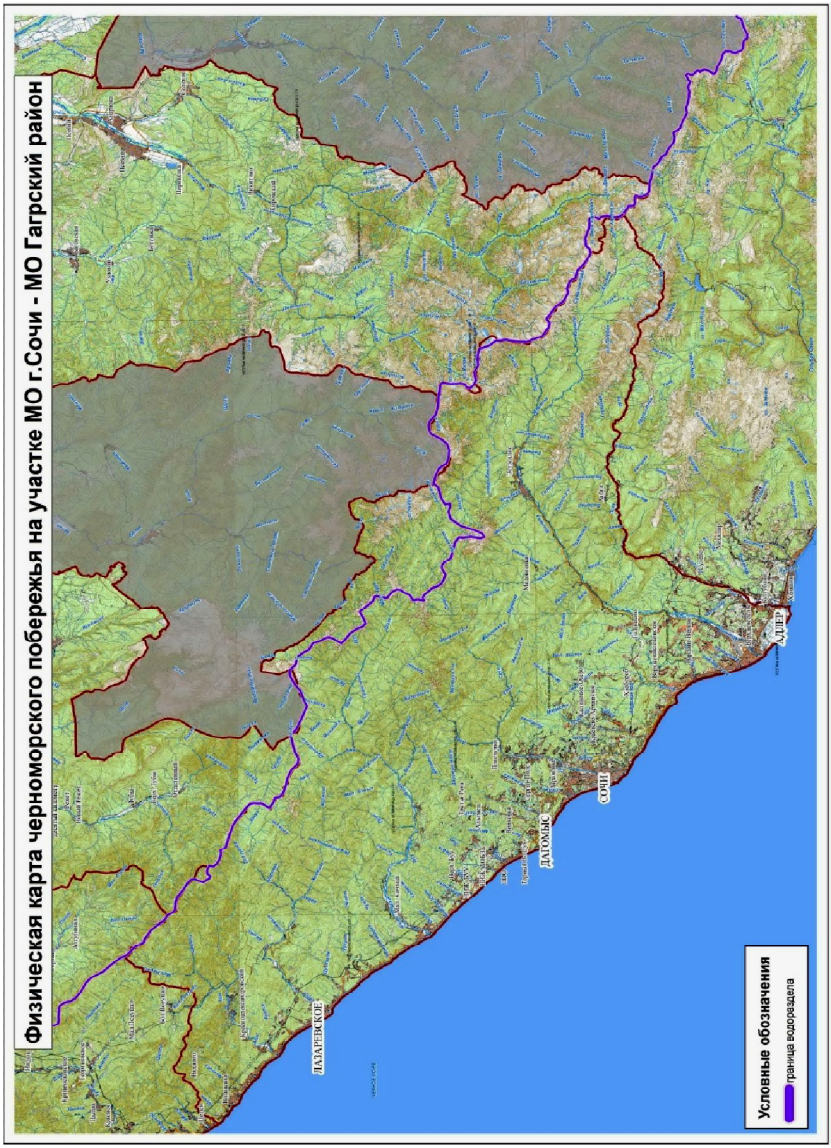


Рисунок 13 - Физическая карта юго-восточной части Черноморского побережья Кавказа (Сочи-Адлер).

Реки. Реки и ручьи Черноморского побережья России коротки, но многоводны. Питание — дождевое, подземное, в южной части — снеговое и ледниковое. Общий годовой сток пресной воды в Чёрное море достигает 7,5 км^3. Выходы минеральных источников имеются практически по всему Черноморскому побережью: у Красной Поляны, близ Геленджика, Анапы, а также по рекам северного склона: Убин, Афипс, Белой.

Флора. Современная флора ЧПР является его наиболее яркой отличительной чертой, своего рода визитной карточкой, поражая пестротой цветовой гаммы и видовым разнообразием. При этом большинство так называемых субтропических видов акклиматизированы здесь совсем недавно — в конце XIX — начале XX века, то есть являются интродуцентами. Лишь небольшое количество самых морозоустойчивых видов являются автохтонными. В основном это кустарники подлеска: лавровишня, падуб, самшит, несколько видов рододендронов и некоторые другие. Большинство влаголюбивых теплолюбивых видов погибло в период первого оледенения. Леса ЧПР до массовой акклиматизации субтропических и тропических видов носят в целом общероссийский листопадный характер, но, по мере всемирного потепления, они принимают всё более субтропический вид, соответствующий современному климату региона. Искусственные вечнозеленые насаждения появились здесь в конце XIX века, поначалу в парках, ботанических садах и оранжереях. Во второй половине XX века многие из них одичали и распространились за пределы парков и оранжерей. веерные пальмы, лавр, средиземноморские калины, китайские бирючины, лох колючий, эвкалипты, разнообразные лианы, чай, цитрусовые и другие.

В северной болотистой части близ Дельты Кубани многочисленны заломы камыша и тростника, плавни. Далее к югу более ярко выражена высотная поясность.

Причерноморская низменность, речные долины и горные склоны Кавказа до высоты 200—300 метров покрыты субтропическими вечнозелеными, далее смешанными и хвойными горными лесами. Сухой средиземноморский климат северной половины Черноморского побережья

благоприятен для выращивания таких теплолюбивых культур как грецкий орех, виноград, каштан, гранат, хурма, ежевика, розмарин, персики, абрикосы и др. Ближе к югу, во влажных условиях сочинских субтропиков растут цитрусовые (мандарины и лимоны), различные виды магнолий (обыкновенная, японская и др), тюльпановые деревья, лавр, агава, юкка, пальмы, акклиматизированные виды эвкалиптов, чайные кусты, произрастают мирт, рододендрон, бамбук, мимоза, азалия, всю зиму могут цвести холодоустойчивые цветы и др.

Фауна. Виды-эндемики: тур западно-кавказский (тур Северцова), прометеева мышь, кавказский улар (горная индейка), кавказский тетерев, кавказская гадюка (змея Казнакова) и др. Акклиматизированные виды и инвазивные виды: алтайская белка и енотовидная собака (выпущены в 1937— 1940 годах), а позже — североамериканский енот, ондатра, нутрия (1960 - 1970-е).В горах встречаются кавказский медведь, рысь, кабан, дикий кот, кавказский благородный олень, косуля, зубробизон, тур. В ущельях живут уж и медянка, черепахи. В реках и ручьях обитают норки, выдры, а из птиц —оляпка. В дельте Кубани и на лиманах много водоплавающей птицы, повсеместно встречаются чайки. В горных реках и ручьях встречается форель. Бабочки: траурница, адмирал, парусник, крапивница, ночной бражник, крупные богомолы (до 10 см в длину).

3.3 Особенности природы северо-западной части региона

Анапский район. Рассматривая воду как природный ресурс, следует также разделить ее по курортологической ценности. Прежде всего, это побережье Черного моря протяженностью около 80 км. Но составу вода Черного моря почти втрое "легче" океанической, т.е. содержание солей в прибрежной зоне в разное время колеблется в пределах 18° (против 34 в океане), что означает более мягкое воздействие ее на человеческий организм. Это особенно важно в адаптивных процессах детей средней полосы и севера. К ценным курортологическим факторам водных природных ресурсов относятся лиманы и плавни. По-

мимо больших испаряющих поверхностей лиманы ценны как хранилища сульфидных иловых грязей, общие запасы, которые исчисляются 5 млн. м^3 и концентрированный рапы, особенно на озере Соленом. Относительное экологическое благополучие позволяет рассматривать Анапский район как весьма привлекательный участок в рекреационном отношении.

Район Анапа – Новороссийск(рис.10).Климат от Анапы до Туапсе определяется как типичный средиземноморский, который является разновидностью субтропического климата с жарким, сухим летом и мягкой, дождливой зимой[3]

Характерной особенностью данного района является бора. В районе Анапа – Новороссийск – Туапсе при поступлении через горы холодного воздуха отмечается сильный ветер северо-восточного направления – бора. Бора возникает при наличии области высокого давления к северу от Черного моря и области пониженного давления над морем, когда наблюдаются большие контрасты температур подстилающей водной поверхности и поверхности земли.

Скорости ветра, как правило, превышают 15 м/с, в отдельных случаях свыше 40 м/с (15-17 декабря 1997 г. скорость ветра достигала 47 м/с и 7 февраля 2012 г. – до 50 м/с). Среднее количество случаев боры с год составляет 21. Из этого числа на холодное полугодие приходится 18 дней. В Новороссийске в среднем бывает 46-48 суток в году сборой, из них половина с ветром со скоростью не менее 20 м/с. Чаще всего бора наблюдается здесь с сентября по март с максимумом повторяемости в первом и последнем месяцах этого периода.

Как правило, продолжительность действия северо-восточного ветра составляет от 1 до 3 дней (76 %). В 22 % случаев отмечена длительность от 4 до 8 дней и совсем незначительное число (2%) приходится на ветер с продолжительностью 10 дней и более. Наиболее часто скорость ветра составляет 11-15 м/с (61 %). В 20 % случаев наблюдается ветер 16-20 м/с, течение – 34-36 см/с, и в 19 % случаев наблюдается ветер

[3]**Ткаченко Ю.Ю., Денисов В.И.** Особенности климата прибрежной зоны северо-восточной части Черного моря. Монография // Южный Федеральный Университет, Ростов-на-Дону, 2015, 84 с.

более 21 м/с (более 40 м/с в районе Новороссийска) (Ткаченко, 1998).

Скорость ветра во время длительной боры изменяется в больших пределах. Во время боры наблюдаются резкие колебания метеорологических элементов: давления, температуры и других, что приводит к порывистому характеру ветра. Особенно резко понижается температура и влажность воздуха. В отдельных случаях до начала боры наблюдаются положительные температуры воздуха, после ее прохождения температура воздуха опускается ниже нуля градусов.

Туапсинский район (рис.11) расположен в центральной части Черноморского побережья Кавказа — курортной зоны России. Рельеф гористый, горы подступают вплотную к береговой линии Черного моря. Граничит с городом-курортом Геленджик на северо-западе, с Северским районом и городом-курортом Горячий Ключ на севере, с Апшеронским районом на востоке и с городом-курортом Сочи на юге. На западе земли района омываются водами Чёрного моря. Протяжённость района вдоль Черноморского побережья с севера на юг составляет — 80 км, с запада на восток — 45 км. Площадь района составляет 2366 км^2. 87 % всей площади района занято реликтовыми лесами.

Абсолютные высоты Главного Кавказского хребта в пределах района с северо-запада на юго-восточное возрастают с 700 м до 1634 м. При этом перевалы северо-западнее горы Индюк не превышают 518 м, два из них, по которым проложены магистральные автодороги, имеют отметки 355 и 336 м. Юго-восточнее горы Индюк перевалы расположены на высотах от 900 до 1255 м и популярны для пеших туристических походов.

Гидрографическая сеть представлена большим количеством рек, стекающих с южного склона Главного Кавказского хребта в Чёрное море. Тремя наиболее крупными реками Туапсинского района являются — Шапсухо (41 км), Туапсе (43 км) и Нечепсухо (29 км). Также свои речные бассейны имеют реки—Бжид, Джубга, Секуа, Пляхо, Ту, Небуг, Агой, Паук, Дедеркой, Шепси и ряд более мелких рек. В верховьях рек расположены большое количество водопадов и порогов. Также имеются минеральные источники. Крупнейшим озером на терри-

тории района является — озеро Хыжи.

Климат на территории района является переходным от сухого средиземноморского на северо-западе к влажному субтропическому на юго-востоке. Южнее города Туапсе уже прослеживается влажный субтропический климат. В целом на побережье до высот около 200—350 м выше уровня моря он рассматривается как субтропический полувлажный, далее наблюдается высотная поясность. Среднегодовая температура воздуха составляет +13 °С. Среднемесячная температура самых жарких месяцев июля и августа составляют +23 °С, самых холодных месяцев январь и февраль — +4,5 °С. Температура воды в море летом составляет около +24 °С. Среднегодовое количество осадков составляет около 1280 мм. Наибольшее количество осадков выпадет в зимний период.

3.4 Природные условия юго-восточной части побережья

Изучаемая территория включает площади, занимаемые Сочинским национальным парком, а также сопредельные территории города-курорта Сочи, поскольку местами они накладываются друг на друга, образуя единый комплекс речных водосборов региона (рис. 12, 13). Принимая во внимание, что окружающая природная среда является неотъемлемой частью комплекса оздоровительных воздействий города-курорта Сочи, учитывая увеличивающиеся потоки отдыхающих и необходимость рекреационного благоустройства природных объектов ближайшего окружения 5 мая 1983 года на базе Сочинского, Адлерского и Лазаревского мехлесхозов был создан Сочинский Государственный природный национальный парк - СНП (Постановление Совета Министров РСФСР от 5 мая 1983 года № 214).

СНП расположен на юге Краснодарского края, вдоль побережья Черного моря, в северо-западных предгорьях Большого Кавказского хребта. Непосредственно примыкает к Кавказскому государственному природному биосферному заповеднику и крупнейшему черноморскому курорту г. Б. Сочи.

До 2013 года территория СНП занимала площади Черноморского побережья Кавказа от пос.Магри на северо-западе (северо-западная граница имеет координаты от широты $44^0$03”и долготы $39^0$25”. до широты $44^0$07”и долготы $39^0$26”.) до государственной границы с Абхазией на юго-востоке (юго-восточная граница имеет координаты от широты $44^0$26”и долготы $39^0$57”. до широты $43^0$36”и долготы $40^0$26”.). Общая площадь СНП в этот период составляла 193.74 га.

В 2013 году было принято постановление Правительства РФ № 534 от 25 июня «О расширении территории Сочинского национального парка» за счет отнесения к его территории земель лесного фонда Туапсинского лесничества и части территории Сочинского общереспубликанского государственного природного заказника площадью 9026 гектаров. В соответствии с этим постановлением площадь Сочинского национального парка увеличилась с 193 737 гектаров до 208 600 гектаров.

Территория парка разделена на 16 лесничеств и располагается в предгорьях северо-западной части Большого Кавказа. Рельеф территории горный, сильно расчлененный, где большую часть территории занимают горы, расчлененные крутосклонными речными долинами. Предгорная зона занимает узкую полосу вдоль Черного моря.

Цепи горных хребтов вытянуты в северо-западном направлении и в целом параллельны друг другу. Собственно Главный Кавказский хребет на территорию парка практически не заходит. Он заканчивается у г. Фишт (территория Кавказского заповедника), после чего продолжается далее к северо-западу под названием Черноморской цепи. В пределах парка наиболее высокие вершины – Грачев Венец (1644 м) и Семиглавая (1420 м).

Параллельно Черноморской цепи Главного Кавказского хребта расположена цепь передовых хребтов: массивы Аибга, Бзыч, Амуко, Аутль, Мжецу, Псечев и другие высотой около 2000 м, и только Аибга поднимается почти до 2396 м. Третья цепь объединяет горные массивы Дзыхра, Алек, Ахцу, Арош и другие с высотами около 1000 м. Четвертая цепь (хребты Ахун, Мамайка и Ахштырь), протягиваясь с юго-востока, резко обрывается к морю в районе Дагомыса. Горные цепи и разделяю-

щие их межгорные понижения пересечены долинами многочисленных рек и ручьев.

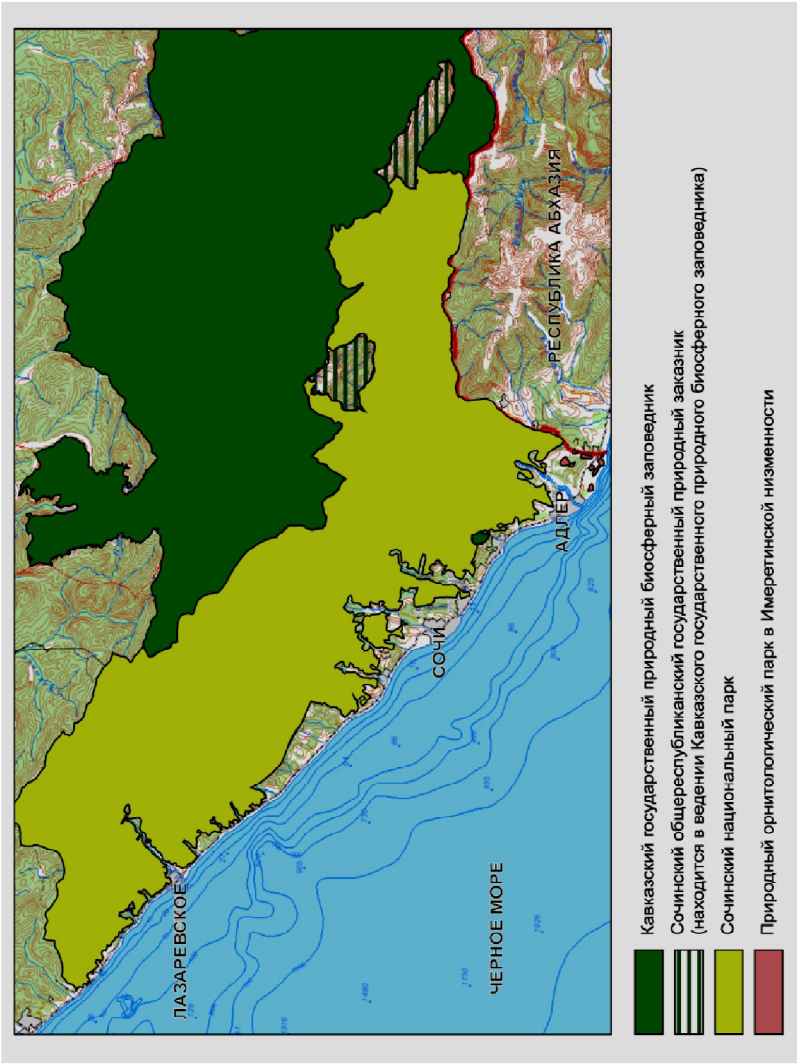


Рисунок 14 – Распределение юго-восточной части Черноморского побережья по административному подчинению

Рассматриваемая территория расчленена сетью рек и ручьев, бе-

рущих начало в горах и впадающих в Черное море. Водный режим типичный для горных рек с источниками питания от атмосферных осадков и грунтовых вод. Общее число рек достигает 40, наиболее крупные из них Мзымта, Шахе, Псоу, Аше, Псезуапсе, Сочи. Первые три имеют длину более 50 км. Реки Лоо, Мацеста, Шепси, Макопсе, Дагомыс, Хоста и др. более мелкие, длиною 20–30 км.

На реках и ручьях парка многочисленны живописные водопады и каньоны. В основном они встречаются в верховьях рек, на реках второго порядка и их притоках, и высота их порога колеблется от 2 до 72 м. Самый высокий водопад Безымянный (72 м) расположен на правом притоке р. Псоу. Второй по высоте порога водопад Ореховский (33 м) расположен на правом притоке р. Сочи. Всего на территории парка насчитывается около 70 водопадов.

Территория парка издавна известна своими минеральными источниками. Химический состав их самый разнообразный: сероводородные, йодобромные, радоновые, нарзановые. Многие обладают целебными свойствами и издавна пользуются большой популярностью среди местных жителей и гостей края. Наиболее известные сероводородные в Мацесте, нарзановые в Чвижепсе и Красной Поляне.

3.4.1 Геология района Сочинского Причерноморья

Большой Кавказ, протянувшийся от Керченского пролива у Черного моря до Каспийского моря, можно вообразить себе как грандиозную антиклинальную (т.е. обращенную сводом вверх) сложную складчато-глыбовую структуру – т.н. мегантиклинорий. В ядре этой гигантской, осложненной на крыльях вторичными структурами, складки обнажаются наиболее древние и прочные горные породы – докембрийского и палеозойского возраста: это разнообразные гнейсы, гранитоиды, кварциты, метаморфические сланцы, конгломераты, мраморы.

В **геологическом строении района** принимают участие коренные отложения с возрастными интервалами от протерозоя до неогена Комплекс отложений, начиная с меловых (апт-альб), включая и палеогено-

вые, входит в состав прибрежно-морской полосы. Именно эти отложения и представляют особый научный интерес, так как разрез меловых, палеогеновых и четвертичных отложений здесь наиболее полный, представляя своеобразный геологический памятник природы. Кроме того, научный и практический интерес представляют: тектоническое строение территории, неотектоника и сейсмичность, физико-механические свойства коренных и четвертичных отложений.

Нижний мел. Аптские отложения. Отложения апта подразделяются на два типа: мергелисто-глинистая толща в бассейнах рек Псоу-Шахе; некарбонатные и карбонатные аргиллиты с мощными песчаниковыми горизонтами и отдельными прослоями песчаника к западу от р.Шахе до г.Новороссийска.

Альбские отложения. Породы альбского возраста имеют широкое развитие по всей площади и подразделяются на две части: толща массивных песчаников в чередовании с прослоями алевролитов, тёмных аргиллитов и мощными пачками некарбонатных аргиллитов (мощность 70-350 м); глины и алевролиты с прослоями песчаников (30-300 м).

Верхний мел. Сеноманские отложения. Отложения представлены двумя частями: нижняя состоит из толщи (140-300 м) темных аргиллитов, алевролитов и реже песчаников и мергелей; верхняя (25-90 м), представлена толщей тонко-ритмичного чередования кремнистых мергелей и известняков с прослоями темных аргиллитов и реже алевролитов и песчаников.

Туронские отложения. Толща пород туронского возраста представлена двумя свитами: верхняя (60-110 м) состоит из тонкоплитчатых светлых известняков, окремнелых темно-серых известняков с прослоями мергелей и аргиллитов; нижняя (130-250 м) представлена толщей неравноплиточных светлых известняков, мергелей и алевролитов.

Коньякские отложения. Толща известняков плотных илистоватых глинистых мергелей в чередовании с темными аргиллитами и серыми известковистыми алевролитами. Мощность отложений 60-240 метров.

Сантонские отложения. Нижняя свита (40-150 м) - известняки, мергели, алевролиты; верхняя (30-110 м) – кремнистые известняки, мер-

гели, известковистые алевролиты, глины, песчаники.

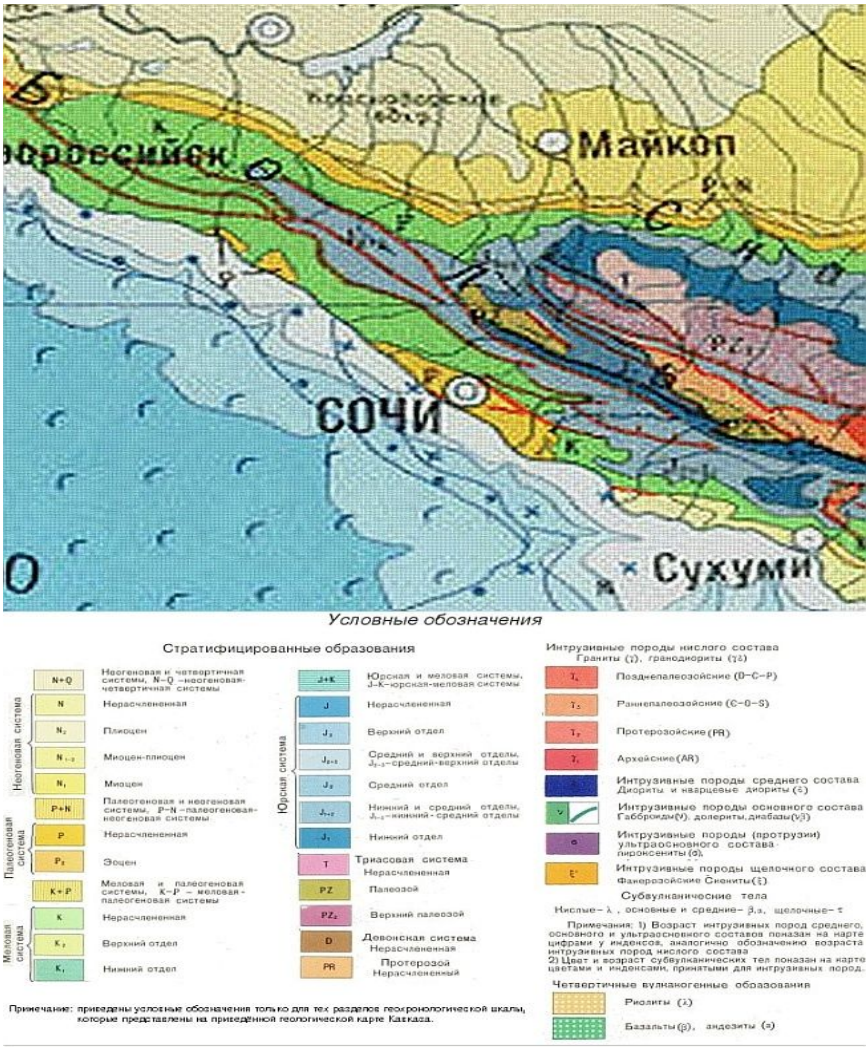


Рисунок 15 – Геологическая схема района (по материалам сайта: http://geo-sochi.narod.ru)

Кампанские отложения. Осадки кампанского возраста представ-

лены четырьмя свитами: 1. Чередование прослоев темных и светлых известняков, мергелей, алевролитов, аргиллитов и глин (210-420 м); 2. мергели, известняки, алевролиты, песчаники и гравелиты (70-160 м); 3. известняки, мергели, песчаники, аргиллиты, мелкогалечные конгломераты (160-290 м); 4. Глинистые мергели, аргиллиты, алевролиты и песчаники (140-320 м).

Маастрихтские отложения. Отложения маастрихта представлены серией свит карбонатного состава мощностью 150-l450 метров (снизу вверх): I. чередование мергелей, известняков, алевролитов и аргиллитов; 2.мергели, известняки и алевриты; 3. мергели, алевролиты, известняки и аргиллиты; 4. мергели, известняки, алевролиты, аргиллиты и песчаники; 5. мергели, аргиллиты, песчаники и алевролиты; 6. мергели, аргиллиты, алевролиты, песчаники и известняки; 7. Мергели и известняки; 8. алевролиты, песчаники, аргиллиты, песчаники и известняки.

В тектоническом отношении площадь южного склона Большого Кавказа, ограниченная р.Туапсе на западе и р.Псоу на востоке, расположена в пределах складчатой системы южного склона с Новороссийско-Лазаревским синклинорием и геоструктурными зонами Западной Грузии. По общему тектоническому плану в пределах данного участка побережья выделяются следующие тектонические области: Лазаревско-Кепшская зона, антиклинорий Ахцу-Кацирха и Адлерская тектоническая депрессия. В строении выделенных тектонических зон принимают участие отложения палеогена, мела и юры.

Лазаревско-Кепшинская подзона как самостоятельная тектоническая зона Новороссийско-Лазаревского синклинория, развивается с верхней юры. На северо-западе она ограничена структурами Невеб-Аутлинской зоны, с юго-востока Кепшинским разломом отдаляется от поднятий антиклинория Ахцу-Кацирха. Породы развитых здесь структурно-фациальных комплексов собраны в систему узких разорванных складок, зачастую опрокинутых к югу. В Лазаревско-Кепшинской зоне довольно обычны покровные структуры (г.Невеб, г.Б.Псеушхо, северный склон хр. Ахцу). Тектонические нарушения имеют здесь, как правило, сложные конфигурации плоскостей. На глубинах это типичные взбросы,

переходящие у поверхности в пологие надвиги (Псеушхинский, Воронцовский, Чвижепсинский).

Наиболее крупными тектоническими структурами в прибрежной зоне являются Долменная, Лазаревская и Цусхводжская антиклинали и Алексеевская синклиналь.

Новороссийско-Лазаревский прогиб отделяется от эпиплатформенной области Грузинской глыбы Кепшинским разломом. Расположенная южная зона Ахцу-Кацирха, представляющая собой горст-антиклиналь адыгейского заложения, сложена в основном осадками карбонатной формации, верхней юры и терригенно-карбонатной формации мела. От Адлерской тектонической депрессии он отделен системой взбросов, проходящих по южному крылу антиклинального поднятия.

Упомянутая тектоническая зона не является цельной антиклинальной структурой. В ее границах выделяются (с запада) следующие антиклинали: Дагомысская, Алекская, Ахцу, Дзыхринская и Тепе-Баши. Все они кулисообразно замещают друг друга, причем каждая антиклиналь, располагающаяся западнее, смещена к югу по сравнению с более восточной антиклиналью.

На участках периклинальных окончаний антиклиналей, как правило, развиты нарушения, и породы имеют резко повышенную трещиноватость.

Адлерская тектоническая депрессия - краевая часть Грузинской глыбы (в пределах Краснодарского края) представляет собой крупную ступень, которая опущена сравнительно с поднятием Ахцу на 2-3 км и сложена верхнемеловыми и третичными субплатформенными образованиями. Депрессия уходит под уровень Черного моря.

Синклинорийосложненцепьюкулисообразнопостроенныхантиклинальныхскладок (Бытхинская, Ахунская, Ахштырская и Бергильская), которые разделяют эту тектоническую зону на две части. Самой северной структурой синклинория является Пластунская синклиналь. Восточная часть этой структуры в настоящее время зажата между антиклинальными поднятиями Ахцу и Дзыхра. К западу синклиналь расширяется и имеет максимальную ширину на меридиане р.Дагомыс, равную 12 км.

На северном крыле Пластунской синклинали на востоке вырисовываются антиклинальные складки Монастырская и Воронцовская; западнее р.Мацеста и до устьевой части р.Шахе все северное крыло Пластунской синклинали опрокинуто к югу.

С юга Пластунская синклиналь ограничена Воронцовским взбросо-надвигом, по которому флишевый комплекс палеогена смещен к югу и перекрывает крупную (в настоящее время погребенную под надвигом) Пластунскую антиклиналь.

Южнее развита Навагинская синклиналь, прослеживающаяся от верховьев р. Пхисты на востоке и перекрывающая аллохтоном Воронцовского надвига на западе. Синклиналь ассиметрична, выполнена глинистой толщей олигоцена, которая собрана здесь в узкие сжатые складки, опрокинутые к югу.

Южнее расположена цепь упоминавшихся уже антиклинальных складок. Все антиклинали ассиметричны и имеют коробчатую форму. Южные их крылья имеют более значительные уклоны, вплоть до 80-90^0 . Уклоны северного крыла этих антиклиналей не превышают 45^0 (Ахун, Бергиль).

Осевые зоны внутренних антиклиналей определяют южную границу развития крутой изоклинальной складчатости в отложениях палеогена .Южнее отложения палеогена имеют почти моноклинальное заложение с уклонами в сторону моря. В редких случаях здесь фиксируются мелкие второстепенные складки или флексуры, являющиеся либо продолжением синклинальных прогибов, разделяющих поднятие, либо продолжением антиклинальных складок.

Кроме охарактеризованных закономерностей развития складчатости обще-кавказского простирания на участке от р.Туапсе до р.Мзымты выделяются меридиональные ступени. Упомянутые ступени на значительных глубинах представляют собой крупные поперечные разломы. В более высоко залегающих структурных этажах они переходят в крупные поперечные флексуры, которыми ограничиваются в ряде случаев складки обще-кавказского простирания. Наиболее крупные ступени в данном районе - Белореченская, Лагонакская, Пшишская; они ограничены по-

перечными флексурами - Курджипской, Цицинской, Туапсинской (Ново-Дмитриевской).

Область альпийской складчатости Северо-Западного Кавказа, погребенная под водами Черного моря, в данном районе включает продолжение складчатых образований Новороссийск-Лазаревского синклинория и, возможно, другие тектонические зоны, юго-западной границей которых служит Восточно-Черноморская шовная зона. Восточно-Черноморская шовная зона служит тектонической границей альпийских складчатых образований Северо-Западного Кавказа с глубоководной депрессией Черного моря.

В прибрежной полосе шириной 10—20 км, на участках материковой отмели склона, на дне моря обнажаются смятые в складки флишевые образования верхнего мела и палеогена, аналогичные развитым на берегу. Антиклинальные линии и отдельные антиклинали, отмечающиеся в береговой полосе и срезанные берегом моря (Бытхинская, Ахунская и др.), прослеживается в пределы акватории на 3-5 км и более.

К юго-востоку в районе Сочи-Адлер мел-палеогеновые отложения сменяют осадки миоцена. Во внешней части материкового склона, в области его перехода к абиссальной равнине, развиты крупные линейные складки, ядра которых сложены в основном образованиями мела и палеогена. Они имеют простирания, близкие к обще-кавказскому, лишь изредка незначительно изменяя его. Длина антиклиналей достигает 20 км и более, а ширина -3-5 км. Большинство из них выражено в рельефе дна. В северо-западном направлении эта выраженность ослабевает и осадки перекрываются плащом недислоцированных неогеново-четвертичных осадков. Отмечаемые значительные мощности последних в глубоководной котловине Черного моря свидетельствуют о том, что область альпийской складчатости в этот период была резко приподнятой по Восточно-Черноморскому шву и служила источником обломочного материала.

3.4.2 Рельеф юго-восточного подрайона ЧПК

Формирование рельефа региона во многом связано с особенностями и своеобразием геологического строения. На относительно узком участке суши (20-50 км) встречаются отложения в возрастном интервале от протерозоя до четвертичного периода. Стратиграфия отложений, особенно меловых и палеогеновых, является достаточно уникальной, так как представлена полным разрезом. Литологический состав, главным образом, осадочных пород, неоднороден, характеризуя тем самым сложные инженерно-геологические условия региона. В пределах данной территории встречается практически весь комплекс четвертичных отложений, но особый интерес представляют морские и аллювиальные, дающие наиболее полное представление о четвертичной истории бассейна и речной сети.

Сложность рельефа региона связана с большой тектонической раздробленностью, активным проявлением неотектонических процессов и современной сейсмичностью (8-9 баллов), прогрессирующим опусканием берегов, литологической неоднородностью, которые способствуют высокой активности экзогенных процессов: развитию оползней, исчезновению пляжей, разрушению морских берегов, подтоплению устьев рек и др.

На основе генетических и морфологических различий на территории Большого Сочи выделяются четыре высотные зоны, характеризующиеся своими специфическими типами и формами рельефа и несущие различную рекреационную нагрузку. Первая - зона высокогорного альпийского эрозионно-тектонического рельефа расположена на высоте более 1800 м над уровнем моря, вторая – среднегорного эрозионно-тектонического и эрозионно-денудационного на высоте 600-1800 м, третья – низкогорного эрозионно-денудационного на высоте 200-600 м, четвертая – полого-холмистого эрозионно-тектонического и абразионно-тектонического рельефа – до 200 м.

Зона высокогорного альпийского рельефа (абсолютные отметки более 1800 м) занимает юго-восточную часть территории Б.Сочи

(верховья рек Шахе, Мзымты, Псоу) в пределах Главного Кавказского хребта и его отрогов.

Водораздельный хребет расчленён многочисленными поперечными долинами и представляет собой систему кулисообразно расположенных горных хребтов с вершинами : г.Семашко (1098 м), г.Аутль (1848 м), г.Жемси (1104 м), г.Фишт (2867 м), г.Кут (2117 м), г.Чугуш (3240 м), г.Псеашхо (3251 м), г.Агепста (3256 м) и др.

Для осевой части хребтов характерны перевальные седловины, среди которых наиболее известны перевалы: Белореченский - 1778 м, Псеашхо-2009 м, Ачишхо - 2391 м.

Высокогорная зона характеризуется сложным эрозионным расчленением с элементами гляциального рельефа. Глубина вертикального расчленения рельефа составляет 800-1000 м, а густота горизонтального расчленения - 0,8-1,2 км/км^2. Крутизна склонов колеблется в широких пределах - от 20 до 45^0 и более .

В зоне высокогорья выделяют два типа эрозионно-тектонического рельефа. Первый - скалистый с ледниковыми и нивальными формами на кристаллических породах докембрия и палеозоя. Облик рельефа определяется денудационной устойчивостью -кристаллических пород и вулканогенов, выходы которых приурочены к областям максимального тектонического воздымания горной системы Кавказа в пределах Б.Сочи с характерными пирамидальными и зубчатыми вершинами гор, скалистыми утесистыми склонами и отдельными обнаженными скалистыми кряжами превышающими высоту 2500 метров. На их фоне выположенные вершинные поверхности с луговым покровом и сравнительно пологие склоны обусловили наличие здесь резко контрастирующего рельефа. Равновысокие уровни Агепсты, Псеашхи, Чугуша являются останцами древних поверхностей выравнивания.

Рельеф второго типа расположен на сложноскладчатом основании песчано-сланцевой толщи пород нижней Юры и охватывает верхние части склонов Главного Кавказского и Передового хребтов. Слабая денудационная устойчивость глинистых разностей пород и селективный характер выветривания предопределили общую мягкость форм рельe-

фа, а все высшие точки приурочены к выходам более устойчивых пород - кварцевых и карбонатных песчаников, известняков и вулканогенов.

Большое влияние на морфологию склонов, их устойчивость оказывают гравитационные процессы - обвалы, оползни, осыпи, сели и снежные лавины. В большинстве случаев они приурочены к крутым эрозионно-гравитационным уступам. Наиболее активные обвально-осыпные процессы (поражённость склонов 40%) зафиксированы в верховьях рек Шахе, Сочи, Мзымта, Псоу. Их проявление в рельефе выражено в виде мощных конусов и шлейфов у подножия склонов.

Значительно осложняют условия рекреационного освоения высокогорья снежные лавины. Вероятность их возникновения имеется везде, где крутизна склонов превышает 20^0, а мощность снежного покрова достигает 30 см. Основная часть лавинных очагов сосредоточена в высотном поясе 2000-2800 м. Наибольшее их количество отмечается в верховьях реки Мзымты и её притоков.

Экзотическими экскурсионными объектами высокогорного пояса, имеющими большой интерес у рекреантов, являются очаги современного оледенения. В регионе Б.Сочи находится 7 ледников, общей площадью 1,7 км^2. Из них 3 ледника расположено в истоках реки Пслух, а остальные - в истоках р.Тихой (на северном склоне хребта Ацетука)/26/.

Таким образом, сложный рельеф высокогорной зоны обусловливает разнообразие природных условий и в то же время создает определённые трудности хозяйственного освоения. Этим объясняется наличие неосвоенных территории и хорошо сохранившихся природных комплексов, перспективных для рекреационного освоения.

Наличие достаточно высоких горных вершин и перевалов, различной категории сложности (в основном 1-А в летний период и 1-Б в зимний), создаёт предпосылки для организации здесь горно-переходных туристских маршрутов и занятий альпинизмом. Наиболее благоприятный для этих видов туризма период с середины июня до начала октября (100-110 дней). Остальное время рельеф высокогорья служит опосредованным рекреационным ресурсом для пейзажных прогулок, экскурсий по безопасным в лавинном отношении территориям. При этом дос-

таточно высокая расчленённость создаёт пестроту природных комплексов, что повышает эстетическую ценность местности.

Зона среднегорного рельефа (абсолютные высоты 600-1800 м) имеет наиболее широкое распространение и охватывает около 70% площади рассматриваемой территории. К западу от г.Фишт (2852 м) она занимает верхнюю приводораздельную часть склона Главного Кавказского хребта, а к востоку -представлена рядом продольных и поперечных хребтов о абсолютными высотами от 500 до 1100 м. К числу наиболее крупных продольных хребтов широтного направления относятся : Алек, Пикет, Мамайский, Бытха, Ахун, Ахштырь.

Характерная особенность среднегорного рельефа – его достаточно глубокая расчленённость с перепадами относительных высот от 200 до 800 м. Густота эрозионного расчленения составляет 0,6-0,8 км/км^2, сокращаясь до 0,2-0,4 км/км^2 в пределах карстовых массивов.

Широко распространённые формы рельефа среднегорной зоны - выположенные водоразделы, венчающие многие хребты; склоновые поверхности, преимущественно эрозионно-денудационного происхождения; карстовые гряды и эрозионные V-образные, трапециевидные, каньонообразные речные долины.

Наиболее высокое положение занимает водораздел Главного Кавказского хребта, представляющий собой сочетание сглаженных продолговатых вершин, разделённых плоскими поверхностями, на которых наблюдаются неглубокие овальные впадины протяженностью до 50-70 м. Некоторые из них заполнены водой и представляет небольшие озёра. Между вершинами водораздела расположены пологие седловины, используемые как перевалы горных троп (пер.Грачевский - 1286 м). Сложен водораздел различными эффузивными и осадочными породами юрского возраста, частично обнажающимися, но большей частью перекрытых маломощным чехлом элювиальных отложений.

Гипсометрически ниже водораздела Главного Кавказского хребта располагаются водоразделы хребтов Мезенцу, Нихетх, Солонитцкого, Бачко, Бзыч, Ашутко и других более мелких гряд. Рельеф их, выработанный на литологически различных отложениях мелового возраста,

характеризуется сглаженными очертаниями округлых вершин и выровненных поверхностей. На фоне сглаженных водоразделов контрастно выделяются отдельные пирамидальные вершины : г.Жемси - 1104 м, г.Моэзоауку - 926 м, г.Кварова - 885 м и другие.

Склоновые поверхности, преимущественно эрозионно-денудационного происхождения, характеризуются выположенным полого-волнистым рельефом, с прямым, слегка выпуклым профилем. Их крутизна от 20 до 25°. Покров рыхлых отложений на поверхности склонов невелик (до 0,5 м) и нередко совершенно отсутствует, уступая место выходам коренных пород (склоны хр.Нихетх, южные отроги хр.Бачко).

Куэстовые гряды, выработанные в субфлишевых отложениях нижнего и верхнего мела, распространены в долине р.Псезуапсе (скала Греческая, урочище Глубокая Щель и др.). Узкие куэстовые гряды представляют собой участки наклонных поверхностей, бронированных устойчивыми породами, с юга они ограничены крутыми скалистыми уступами высотой до 200-300 м.

В пределах среднегорного пояса современные рельефообразующие процессы развиты слабо и проявляются обычно в виде единичных оползней, селей и плоскостного смыва. Более широкое развитие в регионе Сочи получили карстовые процессы. Среди карстовых массивов - хребты Алек, Ахцу, Дзыхра, Ахштырь, сложенные меловыми и верхнеюрскими известняками -наиболее крупные.

Воронцовский карстовый район - один из интереснейших и красивейших в регионе Б.Сочи и на Кавказе. Здесь на площади около 50 кв.км сосредоточено более 50 пещер, многочисленные карстовые каньоны, живописные водопады, обрывы и причудливые скалы; здесь широко развиты буковые "парковые" леса и заросли самшита (Ефремов,1989,1990).

В целом рельеф среднегорной зоны служит потенциальным ресурсом для развития массового горно-пешеходного, верхового конного туризма, спелеотуризма, познавательных и оздоровительных экскурсий. На крутых южных эскарпах куэстовых гряд возможна организация учебных площадок для начинающих альпинистов.

Зона низкогорного рельефа (абсолютные высоты 200-600 м) прослеживается в виде узкой полосы с небольшими расширениями в долинах рек вдоль всего побережья. На севере от среднегорной зоны она отделяется денудационным уступом.

В низкогорной зоне выделяют тип эрозионно-денудационного рельефа. В западной части региона слабая устойчивость нижнемеловых пород терригенного флиша, обусловленная большим содержанием глинистых разностей, определила наличие мощного чехла деллювиальных накоплений. Склоны хребтов пологие и носят ступенчатый характер. В долинах большинства рек наблюдаются четкообразные расширения. Кроме эрозии в рельефо-образовании значительную роль играют гравитационные процессы, которые проявляются в обилии осыпей, оползней, обвалов, и плоскостной смыв. В местах выхода терригенно-карбонатных пород палеогена наблюдаются скальные обрывы, реки текут в неглубоких каньонах, где течение приобретает стремительный и порожистый характер с частыми водопадами. Длина каньонов в среднем составляет 2-2,5 км. Для поднятий характерны платообразные своды и крутые склоны. Отмечаются также проявления карста. Этот тип рельефа охватывает район нижнего течения бассейнов рек Шахе, Псезуапсе, Цусквадже, среднего течения Хосты, Кудепсты и Псахо, а также верховья Лоо, Хобзы, Буу и Уч-дере. Вертикальное расчленение рельефа здесь не превышает 300 м, а густота эрозионного расчленения колеблется от 0,2 до 0,6 км/км^2, достигая на отдельных участках 0,8 км/км^2.

Наиболее активное воздействие на формирование рельефа низкогорья оказали речная эрозия и денудация. Рельеф этой зоны характеризуется сглаженными, мягкими очертаниями выположенных субширотных гряд, расчленённых густой сетью речных долин, имеющих пологий продольный рельеф. Склоны горных гряд весьма разнообразны по своим морфологическим признакам и генезису. Их крутизна не превышает 20°. На склонах гряд и водоразделах расположились плиоценовые поверхности, которые придают ступенчатый облик низкогорному рельефу.

В целом зона низкогорного рельефа характеризуется слабой и очень слабой интенсивностью проявления современных рельефообра-

зующих процессов. В западной части зоны, в районах распространения карбонатного флиша, преобладает плоскостная эрозия. На некоторых участках (склоны долин рек Шепси, Макопсе) поражённость склонов плоскостной эрозией достигает 30-40%. В районах распространения терригенного флиша палеоцена-эоцена развиваются оползневые процессы. Площадная поражённость оползнями по междуречьям следующая: Мамайка-Сочи – 35%, Сочи-Бзугу - 20%, Бзугу-Мацеста -21%, Агура-Хоста - 13%, Хоста -Кудепста - 18%. Наибольшая интенсивность проявления оползневых процессов приурочена к участкам, прилегающим к разломам (Мандыч, Котляков, 1997).

Зона низкогорного рельефа со сложным долинно-балочным расчленением может быть использована для организации пешеходного туризма и отдыха выходного дня местного значения. Кроме того, здесь возможна организация популярного в последнее время дачного отдыха.

Зона полого-холмистого рельефа (абсолютные высоты до 200 м) прослеживается в виде узкой полосы, расширяющейся вдоль морского побережья, переходя в районе Адлера в приморскую равнину.

На всхолмленной поверхности выделяются отдельные хребты (хр.Ахштырь) и куполовидные поднятия (г.Ахун, г.Бытха). Вертикальное расчленение рельефа здесь составляет 50-100 м. Густота эрозионного расчленения - 0,2-0,4 км/км^2. Преобладают поверхности с уклонами от 5 до 10^0.

Формирование полого-холмистого рельефа происходило под влиянием новейших тектонических движений Кавказа и колебания уровня Черного моря. Широкое развитие здесь получили абразионные формы, включающие морские террасы, а также современные и древние береговые уступы (клифы), развитые вдоль побережья моря.

Наиболее древняя терраса относится к чаудинскому веку (ранний плейстоцен). Она сильно разрушена эрозией и денудацией и выражена отдельными столообразными возвышенностями с отметками 100-120 м, наблюдаемыми к юго-востоку от устья р.Псезуапсе. Протяженность террасовых поверхностей колеблется от нескольких десятков метров до 0.5-1 км при ширине до 300-500 м. Их интенсивно расчлененные, слабо

волнистые поверхности слабо наклонены (5-8°) к морю. Тыловые швы террас (древние береговые линии) завуалированы склоновыми отложениями, бровки же их в значительной степени сглажены, а уступы различной крутизны имеют высоту от 15-20 м до 90-100 м над поверхностью нижележащей террасы.

Следующая терраса связана с древне-эвксинской трансгрессией (средний плейстоцен). Она сохранилась в рельефе лучше и прослеживается почти по всему побережью на высоте 80-90 м в виде небольших (длиной до 250 м) наклонных к морю поверхностей, от нижележащей узунларской террасы она отделена сглаженным уступом высотой 10-20 м.

Узунларская терраса имеет значительно меньшее распространение на исследованной территории. Ее абсолютные отметки достигают 60-70 м. Юго-восточнее устья реки Шахе ширина полосы развития узунларской террасы увеличивается, достигая 150-200 м.

Ниже располагаются две морфологически хорошо выраженные карангатские (позднепалеозоиские) террасы с абсолютными высотами 35-40 м и 20-25 м. На юго-востоке и северо-западе ширина верхней карангатской террасы достигает 500 и более метров, постепенно снижаясь к центральной части исследуемого района. Нижняя карангатская терраса в рельефе имеет сглаженные очертания. От нижележащей сурожской террасы она отделена 10-12 метровым уступом, а ее слабо выпуклая поверхность имеет уклон к морю до 10 °. Карангатские террасы богаты средиземноморской флорой и фауной и могут служить объектами для познавательных экскурсий.

Сурожская терраса узкой прерывистой полосой простирается вдоль берега моря, расширяясь в устьевых частях долин рек. Абсолютные высоты террасы колеблются от 10-12 до 15 м. Со стороны моря она ограничена крутым 10-метровым уступом. Общий уклон выпуклой, интенсивно расчлененной поверхности террасы достигает 7-8 °.

Вблизи рек Псезуапсе и Шахе наблюдается новочерноморская (голоценовая) терраса, которая простирается 200-250-метровой полосой по обе стороны от них почти на 5 км. Плотно задернованная пологона-

клонная ее поверхность, сложенная валунно-галечными отложениями, располагается на уровне 4-5 метров над поверхностью моря. Вторая голоценовая (нимфейская) имеет протяженность 0.5-1 км и ширину 10-50 м. Нимфейская терраса отделена от пляжа четким уступом, высотой 1-1,5 м.

Современный абразионно-аккумулятивный пляж узкой полосой прослеживается вдоль берега моря: 48.8% побережья имеет ширину пляжа до 20 и более метров, широко используемую в лечебно-рекреационных целях; 19.6% побережья имеет пляжную полосу шириной ;10-15 м, что относится к перспективному использованию данной территории для лечебно-профилактических целей; 16.5% побережья непригодно для использования и освоения в ближайшее время. На скальном цоколе пляжа, большая часть которого скрыта под водой, залегает 1-1.5 метровый слой гальки и мелких валунов, часто образующие невысокие (до 0.5 м) временные береговые валы. Поверхность пляжа полого наклонена к морю. Значительная выположенность террасовых поверхностей сглаживает протекание денудационных процессов в их пределах. Это позволяет считать поверхности террас наиболее благоприятными участками для застройки. Однако, на склонах речных долин, расчленяющих террасовый комплекс, широкое развитие получили эрозионные и оползневые процессы. При резком переувлажнении оползневых масс на склонах следует ожидать образование связанных грязекаменных селей (Анисимов, Битюков, 2008).

3.4.3 Геоморфология территории

Горные вершины. Горные хребты Сочинского Причерноморья имеют обще-кавказское простирание с северо-запада на юго-восток и в этом же направлении увеличивают свою высоту, а к берегу моря высота гор уменьшается.

Основные особенности рельефа и геологической структуры региона созданы в палеогене – плейстоцене новейшими тектоническими движениями, сопровождавшимися крупными поднятиями, локальными

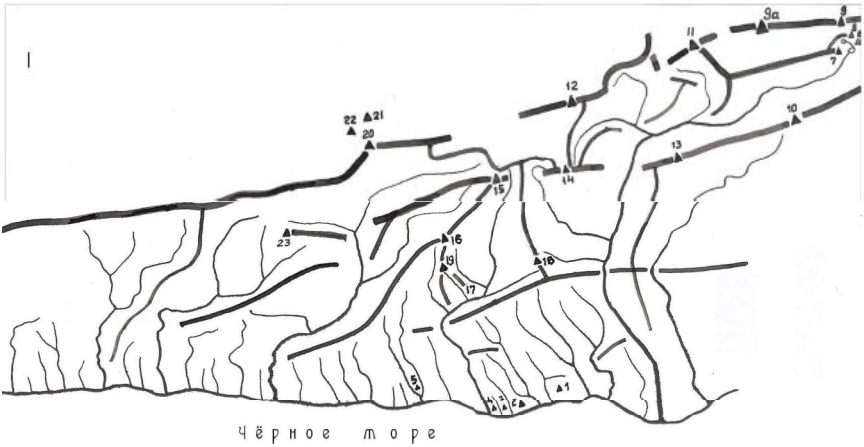
опусканиями, образованием складчатости и мощным вулканизмом. Осевое положение, наибольшие высоты и наиболее древние породы соответствуют Главному Кавказскому хребту, который прорезан долинами рек. Главный хребет в пределах Большого Сочи имеет высоты от 1425 м на горе Лысой до 3257 м на горе Псеашхо. Главный Водораздельный хребет местами совпадает с Главным Кавказским хребтом, а местами проходит в стороне от него. Главный Водораздельный хребет разделяет реки, впадающие в Черное море, от рек, впадающих в реку Кубань и далее, в Азовское море. Параллельно Главному хребту и южнее его проходит Южный Боковой хребет. (В литературе можно встретить и другое название этого хребта — Южный Передовой хребет). В границах Большого Сочи крайней западной точкой этого хребта является вершина высотой 1029 м в хребте Мезецу. К востоку Южный Боковой хребет повышается и достигает на горе Агепста своей наибольшей, в пределах Большого Сочи, высоты — 3256 м. Это одновременно, и высшая точка территории Большого Сочи. Южный Боковой хребет не является единым хребтом, так как прорезан реками южного склона Кавказа.

В пределах территории Большого Сочи к Главному Кавказскому хребту относятся вершины: Лысая (1425 м), Грачев Венец (1544 м), Хуко (1902 м), Фишт (2867 м), Малая Чура (2178 м), Чугуш (3238 м), Ассара (2632 м). Псеашхо (3257 м).

Вершины Главного Водораздельного хребта: Лысая (1425 м), Грачев Венец (1544 м), Хуко (1902 м), Южный Фишт (2564 м), Хрустальная (1972 м), Бзыш (2052 м), Кут (2116 м), Малая Чура (2178 м), Зеленая (2079 м), Ачишхо (2391 м), Ассара (2632 м), Дзитаку (2818 м, Перевальная (2633 м), Западный Псеашхо (2900 м), Узловое Плечо Южного Псеашхо (3192 м), пик Кожевникова Узловой (3004 м), Аишха (2857 м), Лоюб-Цухе (2939 м), Цындышха (3139 м), Кардывач Узловой (2960 м).

К Южному Боковому хребту в пределах территории Большого Сочи относят вершины: 1029 м (в хребте Мезецу) Псегеф (1243 м), Псехетук (1280 м), Стагоки (1339 м), Аутль (1855 м), Большая Чура (2250 м), Ачишхо (2391 м), Аибга (2462 м), Каменный Столб (2509 м), Агепста(3256 м), пик Ефремова (3114 м) и, уже на территории Абхазии —

гора Ацетука (2538 м).



Прибрежные горы: 1.Ахун(663 м), 2.Бытха. 3.Лысая гора, 4.Батарейка, 5.Успенская.
Горы верховьев реки Мзымта: 6.Кардывач(2960 м), 7.Лоюб(2000 м), 8.Циндышха(3139 м), 9.пик Смидовича-Акарагварта(3000 м), 9а*.Цахвоа(3345), 10.Агепста(3256 м), 11.Псеашхо(3257 м), 12.Чугуш(3238 м), 13.Аибга(2452 м), 14.Ачишхо(2391 м).
Горы верховьев реки Сочи: 15.Чура(2250 м), 16.Амуко(1918 м), 17.хребет Ажек, 18.Иегош, 19.Сахарная.
Группа массива Фишт: 20.Фишт(2867 м), 21.*Оштен, 22.*Пшеха-Су.
Гора, с которой берёт начало река Псезуапсе: 23.Аутль(1855 м).
Цепи гор составляют хребты: Главный Кавказский, Водораздельный, Южный Боковой, Ахцу, Ацетукский, Цахвоа, Аишхо, Турьи горы, Алек.

Рисунок 16 – Горные системы в пределах юго-восточного подрайона ЧПР (http://geo-sochi.narod.ru)

Есть еще ряд хребтов обще-кавказского простирания, расположенных ближе к берегу моря, чем перечисленные выше, и уступающих им по высоте. Самый протяженный из них — хребет Алек — Ахцу — гора Высокая (1122 м) и далее, уже в Абхазии, — хребты Кацирха, Тепе-Баше, Арабика. Более короткие и более низкие хребты расположены ближе к берегу моря: Пикет, Ахун, Бытха и другие. Хребтами различных направлений разделены бассейны рек и их притоков. Все это многообразие хребтов, отрогов, долин, ущелий образует сложную картину рельефа.

Горные долины. К числу факторов, определяющих развитие флювиального рельефа горных стран, относятся сложность и неоднородность геологического строения, наличие пород различной степени устойчивости к процессам эрозии, большие амплитуды вертикального расчленения, обусловливающие крутой профиль падения большинства

горных рек, вертикальная климатическая зональность, определяющая условия питания горных рек, отчетливая выраженность в рельефе молодых тектонических нарушений — разрывных и складчатых деформаций, высокая активность неотектонических и современных тектонических движений.

Общий рисунок гидрографической сети горных стран определяется сложным сочетанием долин, предопределенных линиями унаследованного древнего стока, и долин, образовавшихся в результате молодых тектонических движений.

К долинам унаследованным относятся в одних случаях речные долины, связанные с линиями тектонических нарушений (линиями разломов), в других — долины, совпадающие с длительно развивающимися древними формами эрозионного расчленения. В подавляющем большинстве случаев в складчатых поясах наиболее древние долины являются продольными.

Основными морфологическими типами речных долин в пределах Б.Сочи являются: теснины, представляющие собой долины с круто падающими склонами значительной высоты (до нескольких сот метров); ущелья, в которых преобладает глубинная эрозия; каньоны, отличающиеся ступенчатым профилем склонов.

Как правило, с этими типами долин связаны наиболее привлекательные и уникальные экскурсионно-туристские объекты: ущелье Ахцу – одно из живописнейших ущелий Кавказа. Длина – 3 км, глубина – до 850 м.; Мамедова Щель – прорезанное рекой Куапсе в меловых отложениях; Свирское ущелье с водопадами и теснинами, выработанными в известковых отложениях; Агурское ущелье, выработанное р. Агурой в верхнемеловых известняках, а также ущелья, теснины и каньоны с многочисленными водопадами, порогами, уступами, останцами рек Аше, Макопсе, Сванидзе, Сочи, Ажек, Мацесты, Мзымты и её притоков.

Оползни. Оползни широко распространены на Черноморском побережье и склонах долин рек. Как правило, оползни действующие, редко недействующие, имеют форму цирков, вытянутых по склону, с хорошо выраженными границами, трещинами отрыва и уступами. В крупных

оползнях (глубина захвата до 12-15 м) смещению подвергаются делювий подстилающие глины в мелких (глубина захвата до 3-6 м) – только делювий. Оползание происходит по глинам, мергелям, глинистым сланцам и песчаникам. Основными факторами, способствующими образованию оползней, являются наличие слоев с падением их по склону, значительная крутизна склона (более 15-30°) и искусственная подрезка склонов. Причинами возникновения оползней являются переувлажнение пород атмосферными осадками, подземными водами и подмыв морского берега. Сильные осадки в горной зоне приводят переувлажнению почвы на отдельных участках и способствуют формированию оползней и селей. Увеличение частоты и интенсивности осадков обеспечивает рост из года в год количества паводков и вызывает увеличение числа экзогенных процессов (рис. 17).

Продолжающееся в настоящее время потепление, которое наблюдается на всей поверхности Земного шара, в том числе и на территории Краснодарского края способствует развитию экстремальных синоптических ситуаций нехарактерных для территории края. Соответственно возрастает вероятность увеличения и в дальнейшем роста числа оползней и селей, главным образом в горной части и на Черноморском побережье. При этом будут возрастать не только количество, но и масштабы опасных геологических явлений.

Рисунок 17 - Количество оползней и селей за последнее десятилетие

Оползневые накопления являются реальной опасностью формирования твердой составляющей катастрофического селя. Оползневые участки разделены на три категории по степени их пораженности оползневым процессом:от 0,1 до <0,3 - средне-пораженные (вытянутые вдоль гребней узкие участки);от 0,3 до < 0,6 – сильно-пораженные;более 0,6 – очень сильно-пораженные.

Наряду с оползневыми участками на горных склонах в местах повышенной тектонической трещиноватости более стойких к выветриванию пород развиваются обвально-осыпные шлейфы шириной до 120 м.

Осыпи и россыпи. Осыпи и россыпи развиты в горах. Образование их связано с разрушением скальных пород в результате выветривания. Осыпи представлены мелким щебнем и глыбами, приурочены к подножиям обрывов крутых склонов речных долин и часто имеют вид плоских конусов длиной по склону до 150-200 м, шириной в основании до 300-300 м. Большинство осыпей являются подвижными, реже закреплены кустарниковой растительностью.

Россыпи, представляющие собой скопление глыб и крупных обломков, приурочены к пологим склонам и плоским водоразделам. Площади, занятые россыпями, достигают 0,5-1 км^2.

Осыпи, россыпи и обвалы широко развиты в горной части территории. Осыпи образуются в результате выветривания скальных пород, состоят из щебня, дресвы и глыб и приурочены, в основном, к подножиям склонов. Осыпи подвижные, реже закрепленные. Большинство осыпей имеют форму плоских конусов, вытянутых по склону. Длина их до 150-200 м, ширина в основании склона до 300-400 м.

Россыпи образуются на водоразделах и их склонах и представляют собой скопление крупнообломочного материала. В результате морозного выветривания нередко образуются каменные кольца и полигоны размером в поперечнике 2-3, редко до 5 м, состоящие из обломков диаметром 0,3-0,4, редко до 0,8 м. В горах наблюдаются обвалы скальных пород.

Карст. Карстовые процессы распространены сравнительно нешироко – в междуречье Кудепста – Псахо - Мзымта - Псоу. В каньонооб-

разных долинах рек карст активно развивается по крупным крутопадающим трещинам бортового отпора, простирающимся параллельно склонам, сложенным карбонатными флишевыми толщами. Основными формами карста здесь являются эрозионно-карстовые ниши, пещеры и различные виды трещинного карста - эрозионно-карстовые ниши глубиной до 2 м. высотой в 1.5 - 2.0 м и протяженностью до 50 м. широко развиты у современных урезов рек Мзымта, Псахо, Кудепста. Здесь же часто встречаются небольшие пещеры и формы трещинного карста, с которыми связаны высокодебитные карстовые источники, иногда напорные - подрусловые. а также случаи поглощения поверхностного стока.

На поверхности карст проявляется с образованием воронок, ниш и карров. Глубина воронок достигает 30 м, диаметр 10-70, реже до 150 м, крутизна стенок 10 - 40, чаще 10-150, расстояние между воронками 5 - 150, чаще 20 - 40 м, иногда воронки соединяются между собой. Часто крупные воронки осложнены более мелкими. Стенки воронок задернованы, дно плоское или неровное, часто заполнено суглинками.

Ниши встречаются по склонам долин рек и располагаются обычно на высоте 5-30, реже 100-200 м над днищами. Размер их колеблется в широких пределах. Наиболее крупные ниши имеют ширину в несколько метров при глубине 1, 5-2 м. Часто они располагаются цепочками и связаны трещинами.

Карры приурочены преимущественно к известнякам, имеющим пологое падение. Развиваются карры обычно по трещинам напластования и представляют собой борозды и трещины глубиной 0,1-0,3, реже до 0,5 м, шириной до 2-3 м, длиной до 30-40 м. Карры обычно сопровождаются кавернами, пустотами и западинами глубиной до 2 м, шириной до 15 м.

В некоторых местах встречаются карстовые поля площадью в несколько квадратных километров. Подземные формы карста представлены пещерами, гротами, понорами и карстовыми трещинами. Пещеры и гроты расположены в основном на склонах на склонах хребтов. Пещеры имеют различные конфигурации и размеры. Длина пещер от 3 м до 2,2 км, чаще 30 - 150 м, ширина 0,3 - 30, чаще 1,5 - 4 м, высота 0,5 - 30, ча-

ще 2,5 - 5 м. Через многие пещеры протекают ручьи и подземные реки.

Крупными карстовыми массивами являются хребты Алек, Ахцу, Дзыхра, Ахштырь, сложенные меловыми и верхнеюрскими известняками. Одним из наиболее интереснейших и красивейших в регионе Большого Сочи является Воронцовский карстовый район. Здесь на площади около 50 км^{2}сосредоточено более 50 пещер, находятся карстовые каньоны, живописные водопады, обрывы и причудливые скалы; широко развиты буковые «парковые» леса и заросли самшита.

Такие пещеры, как Воронцовская в массиве Ах-цу, протяженностью около 12 километров, Назаровская в массиве Алек, протяженностью до 8 километров, являются крупнейшими в России. Расположенные в массиве Алек пещеры имеют глубину: Назаровская - 500 метров, Заблудших - 480 метров, Октябрьская - 450 метров, Ручейная -350 метров, Школьная - 320 метров, Географическая - 310 метров, Величественная - 260 метров, Гигантов - 220 метров, Медвежья - 205 метров; в массиве Ах-цу, Нежданная - 420 метров и Воронцовская-300 метров являются глубочайшими в России. Пещеры Сочи являются объектом исследования спелеологов Симферополя, Сочи, Киева, Петербурга, Москвы и др. городов зарубежных стран. Наряду с пещерами встречаются карстовые колодцы (поноры) глубиной 3 - 5, иногда до 30 - 50 м, диаметром 1,5 -2,5 м, с крутыми, часто отвесными стенками. Карстовые трещины встречаются в обрывах по берегам рек, в зонах разрывных тектонических нарушений и на водоразделах.

Преобладают трещины, приуроченные к плоскостям напластования, реже к зонам разрывных тектонических нарушений, ширина их 0,1 - 0,2, реже к зонам разрывных тектонических нарушений, ширина их 0,1 - 0,2, реже 0,5-1 м, глубина проникновения 5-20 м. Трещины, как правило, заполнены глиной и другими продуктами выветривания. Крутопадающие карстовые трещины часто переходят в карстовые каналы и трубы, которые служат началом образования карстовых полостей. Закарстованные участки являются областью питания подземных и поверхностных вод (Анисимов, 2006).

3.4.4 Климатообразующие факторы

Важнейшим фактором, определяющим степень комфортности территориально-рекреационного комплекса Сочи, является климатический, характеризующийся особой специфичностью проявления основных и вспомогательных климатообразующих факторов: солнечной радиации, атмосферной циркуляции, влагооборота, влияние моря и рельефа.Согласно климатической классификации Л.С.Берга, рассматриваемый район относится к типу климата влажных субтропиков и характеризуется такими климатическими показателями, которые в большей части являются благоприятными для различных видов рекреационной деятельности: лечебно-курортной рекреации; отдыху и спортивной рекреации; туризму и познавательной рекреация.

Как отмечалось выше, в формировании климата Б.Сочи важнейшая роль принадлежит рельефу, под влиянием которого видоизменяется циркуляция воздушных масс. Южное расположение района, наличие незамерзающего моря и отрогов Большого Кавказского хребта оказывает существенное влияние на формирование климата. Хребты препятствуют свободному переносу воздушных масс с севера на юг, служат непроходимым барьером для вторжения холодных воздушных масс с севера и северо-востока.

С увеличением абсолютных высот и удалением от берега моря климат становится холоднее, увеличивается количество осадков, вегетационный период сокращается, соответственно изменяется характер растительности. Водораздельный хребет в этой части района надежно защищает побережье от вторжения холодных воздушных масс с северо-востока. К северо-западу от Туапсе защитное влияние Черноморской горной цепи, которая здесь ниже, значительно уменьшается, северо-восточные ветры прорываются в прибрежную зону, климат становится сухим, континентальным – с холодной зимой и жарким летом.

Поступающие с запада и северо-запада (со стороны моря) массы холодного воздуха значительно прогреваются над водной поверхностью

и приобретают неустойчивость и увлажненность, в результате чего наступает длительное ухудшение погоды.

Характерной особенностью района является его ***зональность:*** климатические условия изменяются в зависимости от высоты над уровнем моря. Практически выделяются три района: высокогорный (от 2000 м над ур. м. и выше), среднегорный (1000 — 2000 м) и низкогорный (от 400 до 1000 м).

Высокогорный район представляет собой полосу Главного Кавказского хребта от 2000 м над ур. м.и выше. Климат суровый, холодный, с ветрами, частыми оттепелями, туманами и осадками. Количество атмосферных осадков с высотой увеличивается до 700—1000 мм в год. Большое напряжение солнечной радиации, богатство ее ультрафиолетовыми лучами определяются чистотой воздуха и прохождением солнечных лучей через меньшую толщу разреженного воздуха.

В районах высокогорных хребтов и вершин, расположенных в зоне альпийских и субальпийских лугов ниже 3000 м над уровнем моря, воздух чистый и прозрачный, напряжение солнечной радиации высокое, с большим содержанием ультрафиолетовых лучей, зима сравнительно теплая.

В сочетании всех этих факторов район Б. Сочи отличается ровным мягким климатом. Открытость влажным южным и западным ветрам с Черного моря и защищенность района с трех сторон горными хребтами создает благоприятные условия для стационирования поступающих воздушных масс, главным образом с запада, благодаря чему сказывается влияние местных факторов на климат, которые способствуют интенсивному формированию кучево-дождевых облаков, дающих обильные осадки, и сохранению относительно высоких температур воздуха.

Резкие изменения погоды наиболее характерны для холодной половины года. Отличительной особенностью циркуляции зимнего сезона является максимальное развитие циклонической деятельности над Черным морем. Черное море лежит на пути выхода средиземноморских циклонов, высокая температура воды в Черном море сама по себе способ-

ствует возникновению над ним пониженного давления (депрессии). Черноморская депрессия и выход циклонов со Средиземного моря весьма существенно смягчает климат Черноморского побережья Кавказа в зимнюю половину года.

Неблагоприятной особенностью зимнего сезона на побережье являются внезапные и довольно сильные похолодания. Похолодания чаще всего бывают вызваны прорывом с северо-востока холодного воздуха через низкие перевалы (район Туапсе, Лазаревское) или выносом холодного воздуха с Закавказья. В последнем случае первоначально наблюдаются отрицательные температуры в Сухуми-Гагра, а затем в Адлере-Сочи. Устойчивых морозов не бывает вообще. Дни с отрицательной среднесуточной температурой воздуха бывают очень редко, но в отдельные зимы, при полярном вторжении холодных антициклонов в южные широты и беспрепятственном обвале холодного воздуха с северо-запада через открытое море возможны интенсивные похолодания, когда абсолютный минимум в районе Сочи понижался до -15°. Обычно первые вторжения арктического воздуха на Черноморское побережье Кавказа начинаются с ноября, с ними связаны первые снегопады в горах и слабые заморозки на побережье.

С выносом теплых и влажных масс воздуха в теплых секторах средиземноморских циклонов отмечаются резкие потепления, которые усиливаются фёновыми явлениями. Температура воздуха при фёновом явлении зимой может понижаться от +17° да +25°.

Устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 5° осуществляется в феврале месяце, но в отдельные годы бывает 1-2 дня со средней суточной температурой воздуха ниже 5° в марте. От марта к апрелю среднесуточная температура воздуха повышается всего лишь на 3,5-6,0^0, сказывается влияние охлажденного за зиму моря и частых морских туманов, уменьшающих приток солнечной радиации. Все это создает впечатление затяжной весны, хотя по температуре воздуха она наступает очень рано. Туманы возможны главным образом в конце зимы и весной 8-I0 дней в году.

Гололеды отмечаются только в Лазаревском районе Б.Сочи и

весьма редко, не более 2-3 случаев за 10 лет.

Для среднегорного района Сочинского Причерноморья характерен общий перенос масс воздуха с запада на восток. Однако наличие отрогов Большого Кавказа, существенно меняет направление и скорость ветров в районе. Преобладающее направление ветра зимой: северное, северо-западное, летом: юго-западное. В целом за год преобладают ветры северного направления. Температурный режим определяется помимо внешних причин, характером рельефа, абсолютными отметками поверхности. Заметное влияние оказывает ветровой режим (горно-долинные ветры, фены и морские бризы).Климат среднегорных районов региона Сочи (пос. Красная поляна, пос. Эсто-Садок, Энгельмановы поляны, Турьи горы) характеризуется особым типом горно-умеренного климата крупных межгорных котловин. С севера этот район защищает от холодных ветров хребет Ачишхо, с северо-востока - Главный Кавказский хребет, с юга - хребет Аибга.

Пос. Красная Поляна расположен на горном плато (500-600 м над уровнем моря). Защищенность с севера основными горными хребтами Большого Кавказа обусловливает здесь относительно высокие среднегодовые температуры. Преобладающее направление ветра - юг, юго-запад. Средняя скорость ветра 1,7м/с. Среднегодовая влажность 79%. Слабо-морозный период продолжается со второй половины декабря до начала марта (около двух с половиной месяцев). Средняя температура воздуха в январе составляет 0,3°С, в отдельные дни максимальная температура может повышаться до + 14°С, а абсолютный минимум достигает-15°С. Период устойчивого залегания снежного покрова составляет в среднем 75-85 сут. Толщина снежного покрова в среднем 20-50 см при максимуме 150 см.

Весна ранняя, но относительно побережья Сочи прохладная и затяжная. Лето теплое с большим количеством солнечных дней. Продолжительность солнечного сияния в районе Красной поляны -1777 солнечных часов в году.

На высоте 1000-2000 м над уровнем моря (Энгельмановы поляны, Турьи горы, хребты Аибга, Ачишхо, Псеашхо) среднесуточные темпера-

туры декабря-марта колеблются от 0 до -10°С. В течение года преобладают ветры северного направления; в зимний период - ветры северо-восточных направлений. На высоте 1000 м над уровнем моря продолжительность залегания снега 120-140 сут. Толщина снега с ноября по март включительно колеблется в среднем от 100 до 400 см, но может доходить и до 7 м. Плотность снега в январе составляет 0,44 г/м^3, в феврале - 0,34 г/м^3, в марте - 0,38 г/м^3. Водность снега в январе, повышаясь с высотой, колеблется от 383 г/см^3 на высоте 1680 м, до 876 г/см^3 на высоте 2000 м над уровнем моря, в феврале - от 417 до 800 г/см^3 и в марте - соответственно от 285 до 0,48 г/см^3.

Климат низкогорной и полого-холмистой части региона Сочи определяется как субтропический, переходный от средиземноморского к влажному морскому. Климат среднегорных и высокогорных районов региона относят к горно-умеренному.С точки зрения рекреации климат региона характеризуется таким набором многолетних средних параметров и их сочетанием, который считается комфортным для среднего человека и создает наиболее благоприятные условия для восстановления здоровья.

Средняя годовая температура воздуха в приморской зоне составляет 10 -14°С и постепенно возрастает к югу. В горах средняя годовая температура повсеместно падает с высотой и выше 2500 м становится отрицательной.

Наиболее холодными месяцами являются январь и февраль, наиболее теплыми - июль и август. Характер изменения температуры воздуха по территории в условиях горного рельефа исключительно сложен, в особенности зимой, когда отмечаются сильные и частые инверсии. Последние наиболее ярко выражены до высоты 1000 м, поэтому градиент изменения температуры с высотой местности в некоторых местах достигает 1,0 -1,2°С на каждые 100 м поднятия. В верхних зонах температура воздуха под влиянием свободной атмосферы понижается в пределах нормы (0,5°С на 100 м высоты).

Летом (июль-август) средняя температура воздуха на побережье Черного моря около 23°С, в предгорной полосе равна 22 - 20°С, на вы-

соте 1500 - 2000 м – 16 - 12°С. Средняя годовая абсолютная влажность воздуха в прибрежной зоне равна 12 - 14 мб. С повышением высоты местности абсолютная влажность воздуха уменьшается. Ее вертикальный градиент до отметок 1000 м равен 0,8 – 1,0 мб, выше 1000 м – 0,5 – 0,3 мб на каждые 100 м высоты.

Средняя годовая относительная влажность воздуха составляет в узкой приморской полосе 68%. На горных склонах относительная влажность воздуха увеличивается с повышением высоты местности. Годовое количество осадков на территории описываемого района изменяется в больших пределах. На побережье Черного моря выпадает 1490 мм (г.Сочи), южном склоне юго-западной части Большого Кавказа осадков выпадает сравнительно мало 1800 - 2000 мм. Продолжительность залегания снежного покрова увеличивается с повышением высоты местности. На морском побережье до высоты 200 - 300 м продолжительность залегания снежного покрова составляет в среднем 30 - 35 дней.

3.4.5 Растительный мир

По ботаническому районированию Гроссгейма и Сосновского 1927 года современная северная граница российских влажных субтропиков проходит южнее Туапсе, у поселка Лазаревское (точнее -у Чемитоквадже), где возможно еще произрастание кипариса траурного, криптомерии японской и ее форм, куннингамии, коричников, магнолии крупноцветной, чая, лавра благородного, душистых маслин, мандарина (под укрытием), китайской веерной пальмы, листоколосников, шуазии и других теплолюбивых растений. По флористическому районированию регион расположен на территории Абхазского геоботанического округа Колхидской провинции, области древне-средиземноморской флоры. Северная его часть (поселок Лазаревское) расположен в Черкесском геоботаническом округе Таврической провинции Средиземноморской области, отличающийся от Колхидской отсутствием реликтов третичной флоры (Гроссгейм, 1952).

Леса Черноморского побережья Кавказа имеют огромное влияние на климатический, почвенный, гидрологический и санитарно-гигие-

нический режим побережья и выполняют основополагающую роль в образовании различных ландшафтов.

Особенно велика роль лесов, спускающихся непосредственно к берегу Черного моря, где расположены крупные курортные населенные пункты: Сочи, Хоста, Адлер, пос. Лазаревское с комплексом санаториев.

Лесами в районе покрыто 80% территории. Они охватывают приморскую, предгорную и горную зоны, оказывая большое влияние на состояние экосистемы курорта. Формации основных лесообразующих пород представлены: пихтой кавказской, буком, каштаном, дубом, самшитом, а в приморской части интродуцентами с высокими эстетическими показателями (сосны примесная и приморская, кипарисы, кедр гималайский, дуглассия, секвойя и др.).

Лесной фонд региона представлен: насаждениями бука -73l20 га, дуба - 42374 га, каштана - 24408 га, граба - 14543 га, пихты кавказской - 9995 га, ольхи - 7500 га, самшита - 2018 га, реликты и интродуценты - 186 га.

Из приведенных данных видно, что второстепенные породы занимают значительную площадь, составляющую почти 1/5 всей покрытой лесом площади, 83,3% площади под второстепенными породами занимают граб (60,3%), грабинник (4,6%), ольха (16,2%), осина, осокорь, ива (2,2%), можжевельник (2,1%), дикие плодовые (3,2%) и прочие породы (11,4%). Эти малоценные породы в основном занимают плодородные лесные земли в долинах рек, на шлейфах горных склонов и на приречных террасах.

Имеющиеся на побережье лесосады являются результатом прошлого нерационального лесного хозяйства, когда на вырубках ценных лесных пород оставляли дикорастущие плодовые (груша, яблоня, алыча) для использования их плодов.

Лесная растительность поднимается в горы до 1600-1800 метров над уровнем моря, после чего сменяется высокогорными лугами и скалами.

Дубовые леса занимают в основном южные склоны, начиная от берега моря до высоты 600-700 м, и лишь в отдельных местах - до 1000

м над уровнем моря. Затем господство переходит к *буку,* который на склонах южной экспозиции доходит до верхней границы леса. Каштанники чаще приурочены к западным и северо-западным склонам. Северные склоны до 1000 м заняты букняками. Выше они сменяются смешанными пихтово-буковыми и чистыми пихтовыми лесами.

Современное состояние приморских и особенно прибрежных лесов не отвечает в полной мере эстетическим и санитарно-гигиеническим требованиям района, а также ведению в них рационального лесного хозяйства. Состав пород и производительность этих лесов не соответствуют благоприятным климатическим и лесорастительным условиям побережья. Так, 19%площади, находящейся под лесом в Сочинском опытном лесхозе, занято породами малой хозяйственной ценности и весьма низкого ландшафтного достоинства. Это, в основном, древостой с господством граба, грабинника, ольхи, клена, осины, тополя и некоторых других второстепенных пород. Значительную площадь (4250 га) среди этих древостоев занимают пустыри и заросли различных, часто колючих, мало-декоративных кустарников из ежевики, бузины, свидины, держидерева, имеющих самую низкую ландшафтную оценку.

Кустарниковые заросли и пустыри сосредоточены главным образом в районе, примыкающем к побережью, шоссейной и железной дорогам и в окрестностях населенных пунктов.

По принадлежности к различным биологическим группам лесные породы распределяются очень неравномерно: 96% площади занято лиственными листопадными древостоями, и только около 4%- хвойными из пихты кавказской и ели восточной. Хвойные леса расположены в высокогорной части побережья и отдалены большей частью от берега моря на 30-60 км. В непосредственной близости к берегу моря произрастает лишь небольшими группами сосна пицундская, разнообразящая и обогащающая в зимнее время ландшафт прибрежных лесов.Под культурами ореха грецкого, каштана съедобного, кедра гималайского, различных видов сосен и других экзотов находится всего 386 га (около 0,1%).

Мало сделано и по улучшению и обогащению прилегающих к курорту лесопарков. Парки Черноморского курорта на 90% состоят из экзотов, интродуцированных на побережье из различных стран мира. В процессе приспособления к новым для них условиям местообитания многие экзоты оказались очень устойчивыми и получили самое широкое распространение в озеленении населенных мест и садово-парковом строительстве: кипарисы, кедр гималайский, некоторые сосны, магнолии, ликвидамбр, лавровишни, бересклет японский, камелии, бирючины, туи, некоторые пальмы, юкки и ряд других пород.

Проведенные на побережье обследования посадок дореволюционного и нашего времени показали, что ряд древесных пород по быстроте роста и производительности не только не отстают от местных пород, но часто и значительно превосходят их. Такие посадки имеются в долинах рек из сосны приморской, псевдотсуги тиссолистной и других пород; на Красной Поляне — псевдотсуга тиссолистная, тюльпанное дерево, ликвидамбр стираксовый, катальпа, дуб иволистный, сосна Веймутова и др.; на Малом Ахуне, Псоу - эвкоммия; в Дагомысе, Головинке, Большом Ахуне - катальпа красивая, сосна итальянская, кипарисовик Лавсона, павловния войлочная, ликвидамбр, кедр гималайский; на Кудепстинской пробковой плантации б.Сочинского опытного лесхоза - пробковый дуб, эвкоммия, эвкалипты и другие породы.

Среди богатейших коллекций древесных экзотов, собранных в Сочинском дендрарии, парке совхоза «Южные культуры» и в других парках Сочи-Адлерского районв произрастает много древесных пород, которые можно использовать для обогащения лесов и лесопарков региона. Имеются широкие возможности реконструкции лесов побережья путем замены медленнорастущих и малоценных древесных пород более ценными и быстрорастущими, а также наиболее эффективными в декоративном отношении.

По флористической оценке в лесах региона зарегистрировано более 900 видов сосудистых растений, относящихся к 94 семействам и 406 родам. Из них папоротникообразных - 39, голосеменных - 6, покрытосеменных - 855 (95%) видов. Наиболее богато семейство сложноцветных

(116 видов), а также розоцветных (68 видов), злаковых (67 видов), бобовых (50 видов), зонтичных (44 вида) и т.д.

Генетически флора лесов неоднородна: преобладают бореальные виды (56%); виды кавказского происхождения составляют 22%, древние третичные лесные – 10,5%. Ничтожную роль играют степные (1,6%), заносные - 1% и пустынные (0,1%) виды.

Флора лесов региона содержит много древних кавказских эндемиков, например, молочай длиннорогий, кирказон Штепа, дуб грузинский, окопник крупноцветковый, падуб узкоплодный, бересклет гладкокорый и др. К древним видам относится и большинство представителей субальпийского высокотравья: бор Шмидта, купырь Шмальгаузена, борщевик Мантегацци, лигустикумарафё и др. Эндемичные виды (лилия однобратственная, подснежник кавказский, мак мохнатый, очиток кавказский, смородина Биберштейна и др.) составляют 16% лесной флоры, реликтовые - 17% (папоротники страусник и листовик сколопендровый, пихта Нордмана, ель восточная, бук восточный, дубы Гартвиса и грузинский, граб кавказский, чубушник кавказский, лавровишня лекарственная и др.

Флора высокогорий насчитывает более 967 видов папоротникообразных и семенных растений, относящихся к 285 родам и 62 семействам, из них голосеменных - 940 видов. Самые крупные семейства - сложноцветные (133 вида), а также злаки (79), гвоздичные (57), розоцветные (56), зонтичные (54) и др.Кавказские эндемики составляют 36,3%, среди них наибольшую группу образуют виды, связанные в своем происхождении с Главным хребтом (остролодочник кубанский, тюльпан Липского, валериана скальная и др.), некоторые виды являются колхидскими эндемиками (трясунка Марковича, девясил великолепный, валериана колхидская и др.).К западно-кавказским эндемикам относятся купавка абагинская, колокольчик Отрана, смолевка альпийская и др.

Флора водных растений высокогорных озер содержит всего 7 видов. Все они бореальные (ряска малая, рдесты альпийский, Бертхольда, гребенчатый и длиннейший, болотник весенний, валлиснерия спиральная). Предел их распространения - высота 2400 м. Общее количество болотных видов - 41. Большая их часть (65,6%) относится к семействам

осоковых и ситниковых. Во флоро-генетическом отношении эта группа довольно однородна: 85% ее видов имеют бореальный тип ареалов. Некоторые болотные виды - реликты плейстоценового периода (осока топяная, пушица влагалищная, сабельник болотный, вахта трехлистная, горечавка снежная и др.). Наибольшее число болотных растений произрастает на высотах 1900-2400 м.

В регионе известно более 720 видов грибов. Водоросли, лишайники и мохообразные изучены очень слабо. На водно-болотных и переувлажнённых местообитаниях высокогорий выявлено 48 видов мхов, относящихся к 15 семействам и 17 родам. Из редких растений, занесенных в Красную книгу РФ и Краснодарского края, произрастает 116 видов. Из древесных и кустарниковых растений это тис ягодный, самшит колхидский, хмелеграб обыкновенный, арахна колхидская, сосна пицундская; из травянистых -красавка кавказская, цикламен кавказский, горечавка особенная, колокольчик Отрана, многие орхиозные (анакамптис пирамидальный, лимодорум недоразвитый, надбородник безлистный и др.).

Лесорастительное районирование

В пределах Причерноморья (Коваль, Несветаева, 1973; Коваль, 1974) выделено 5 лесорастительных округов: Новороссийский (р. Сукко - р. Мезыбь), Архипо-Осиповский (р. Мезыбь - р. Шапсухо), Ново-Михайловский (р. Шапсухо - р. Агой), Северо-Черкесский (р. Агой - р. Аше) и Черкесский (р. Аше - р. Псоу). В пределах округов на рассматриваемой территории выделены следующие лесорастительные районы:

- Северо-Черкесский лесорастительный округ.

а) Приморский район (высоты до 250 м) сухих, свежих дубовых (дуб грузинский) и дубово-грабовых лесов;

б) Нижне-горный район (высоты 250…450 м) свежих дубовых, дубово-грабовых лесов;

в) Горный район (высоты 450…850 м) дубовых, дубово-грабовых и буково-каштановых лесов.

- Черкесский лесорастительный округ.

а) Приморский район (высоты до 300…400 м) дубовых (дуб грузин-

ский, дуб Гартвиса) и дубово-грабовых лесов;

б) Среднегорный район (высоты 300…700 м) каштановых и дубово-грабовых лесов, буково-грабовых лесов;

в) Горный район (высоты 600…1200 м) буковых лесов;

г) Верхнегорный район (высоты 1100…2000 м) буково-пихтовых и пихтовых лесов.

Территория Сочинского национального парка по лесорастительному районированию входит в Черкесский округ Колхидской провинции, который подразделяется по вертикальной зональности на:

• приморский район (до 300-400 м над у.м.) дубовых и дубово-грабовых лесов;

• среднегорный район (от 300 до 700 мнаду.м.) каштановых, дубово-грабовых и буково-грабовых лесов;

• горный район (от 600 до 1200 м над ур.м.) буковых лесов;

• высокогорный район (от 1100 до 2000 м над ур.м.) буково-пихтовых и пихтовых лесов;

• альпийские луга (более 2000 м над ур.м.) и субнивальный пояс (снежники и ледники).

На территории хорошо выражена вертикальная поясность, заметная в распределении типов леса. Пояс широколиственных лесов занимает предгорья до 1000-1200 м над ур.м. В его состав входят дубовые, каштановые, грабовые и буковые леса. Пояс темнохвойных пихтовых лесов расположен в пределах 1000-2000 м над ур.м. Выше 2000 м их сменяют буковое редколесье с примесью березы и клена горного, образуя верхнюю границу леса. Выше лесных сообществ расположены субальпийские и альпийские луга, переходящие местами в субнивальный и нивальный пояса.

Выше границы леса у почвы практически отсутствует способность к возобновлению растительного покрова. Именно в этих местах развиваются необратимые эрозионные процессы и возникают сели, оползни и осыпи, имеющие тяжелые последствия. Случается, что в долину съезжают целые горы.

Основным компонентом **ландшафта** на территории националь-

ного парка являются лесные экосистемы. В парке наиболее широкое распространение имеют леса с преобладанием бука восточного - 41%. Они приурочены к высотному поясу с большим количеством осадков и высокой влажностью воздуха. Под пологом развит подлесок из вечнозеленых и листопадных кустарников - понтийский рододендрон, лавровишня, падуб, кавказский рододендрон, а также листопадных на границе леса — кавказская черника, азалия, дафна понтийская. В состав верхне-горных букняков как примесь входят пихта и клен высокогорный. Дубравы занимают 25% покрытых лесом земель и приурочены в основном к сухим и теплым южным склонам (до 600-700 м над ур.м.).

Таблица 2- Распределение площади основных лесообразующих пород по группам крутизны, %

Породы	Площадь покрытых лесом земель	Группы крутизны склонов, градусы			
		0…10	11…20	21…30	Свыше 30
Дуб	1007,8	26	35	23	16
Бук	731,4	11	33	31	25
Граб	215,9	23	36	24	17
Пихта	69,1	7	20	42	31
Сосна	277,9	5	16	43	36
Каштан	5	31	34	34	30
Прочие твердолиственные	792,2	23	28	26	23
В с е г о	3095,0	19	34	31	16

Примечание: В таблицу не включены площади кустарников

Распределение площадей основных лесообразующих пород дано в табл. 2.

Глава 4

СКЛОНОВЫЙ СТОК И ФАКТОРЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ ЕГО В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

4.1 Закономерности формирования склонового стока

Как показали теоретические и экспериментальные исследования, в горных условиях Северо-Западного Кавказа поверхностного стока на склонах, покрытых лесной растительностью, или не существует вовсе, или он составляет доли процента от общего ручьевого стока. Во всяком случае, нет надежных способов отделить поверхностный сток от склонового стока, формирующегося в верхнем 0,5-1,0- метровом слое почвы.

В связи с этим, для горных условий имеет смысл оперировать понятием "склоновый сток", для которого основным отличительным признаком является скорость добегания до основного русла. ***Склоновым стоком*** следует считать то количество воды, которое проходит через замыкающий створ в течение нескольких часов после выпадения паводкообразующих осадков (по крайней мере, в течение 1-2-х суток после дождя). По своим гидравлическим характеристикам и эрозионным свойствам склоновый сток сходен с поверхностным стоком в равнинных условиях.

В отличие от склонового, в более глубоких горизонтах почвогрунтов (глубже 0,5-1,0 м) формируется ***грунтовый сток,*** характеризующийся большим временем добегания до замыкающего створа (от нескольких суток до нескольких месяцев), и вследствие особенностей среды формирования обладающий своими особыми физико-химическими качествами.

Лесные почвы, как правило, обладают очень высокой проницаемостью поверхностных горизонтов, в связи с чем поверхностный сток под пологом сомкнутых высокопроизводительных насаждений образуется сравнительно редко. С увеличением глубины водно-физические характеристики почвенного покрова обычно резко ухудшаются: увеличивается объемный вес и кольматаж пор. Наличие слабо

проницаемого иллювиального горизонта в профиле почв создает условия для формирования внутрипочвенного стока в верхнем фильтрующем горизонте. Просачивающаяся по профилю почвы вода накапливается на относительном водоупоре (на глубине 0,6-1,0 м) и по контакту с ним разгружается в речную сеть. Склоновый сток, помимо внутрипочвенного (дренажного или контактного), включает также поверхностный сток, который может быть представлен двумя формами - подвешенной или подпертой.

Известно, что общие потери паводкового стока на горных склонах определяются свободной емкостью почвенного задержания и величиной глубинной инфильтрации (поглощением воды подстилающими породами). Поэтому при изучении склонового стока в горных районах большое значение имеет определение параметров почвенного задержания и аккумуляции, а также глубинной инфильтрации. Сочетание глубинной инфильтрации, поверхностного впитывания и почвенного задержания определяет величину стока и его распределение на поверхностную и внутрипочвенную составляющие.

Рассмотрим теоретический вопрос о степени влияния рубок леса на водорегулирующие свойства лесных горных склонов.

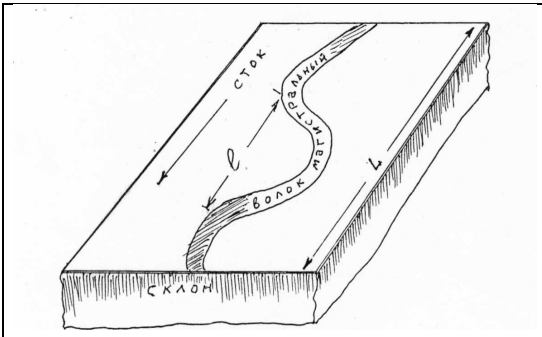


Рисунок 19 - Теоретическая модель стока с лесного склона, пройденного сплошнолесосечной рубкой

На рис. 19 дана теоретическая модель участка склона, пройденного рубкой с применением тракторной трелевки древесины. При этом тракторные волоки рассматриваются как наиболее важные эле-

менты технологии лесосечных работ.

Введем обозначения: k_e - интенсивность инфильтрации в подстилающий водоупор в естественных условиях; τ_e - продолжительность стекания воды на естественных, не затронутых рубками склонах, т.е. продолжительность спада паводка; t_e - продолжительность добегания стока в естественных условиях до замыкающего створа; σ_e - коэффициент стока паводка в естественных условиях (до рубки); Ye - слой стока в естественных условиях (до рубки); L - протяженность склона; l - часть склона между волоками: $l = \frac{L}{N}$, где N - число волоков на склоне; $f_в$ - площадь, занятая волоками; F - общая площадь склона, а F - $f_в$ - площадь склона без волоков.

В соответствии с общей балансовой формулой А.Н.Бефани (1958,1966), общий слой стока на склоне можно представить в виде уравнения:

$$\mathbf{Y_B = X - H_З - K_e * T - \beta * K''_e * \tau} \qquad (1)$$

Здесь : K_e * T - инфильтрационные потери воды во время дождя продолжительностью T; K'e - средняя интенсивность инфильтрации за время дождя; K_e - слой инфильтрации за время спада τ ; K''$_e$ - средняя интенсивность инфильтрации; X - осадки; Нз - почвенное задержание на склоне; β- коэффициент, характеризующий среднюю величину затопленной площади водоупора во время спада, равный $\beta = \frac{f_З}{F} \approx 0{,}3$.

Для слоя поверхностного стока аналогично можно записать (для условий ненарушенного рубкой склона):

$$\mathbf{Y_{п.е.} = X - K'_{e\,пов.} * T - \beta_{пов} * K''_{e\,пов.} * \tau e_{\,пов.}}, \qquad (2)$$

где: βпов. - коэффициент затопления поверхности водами в среднем за время спада (обычно он равен 0,2-0,25).

Поверхностный сток в нарушенных рубкой условиях равен:

$$\mathbf{Y_п = Y_{п.в.} * f_в + Y_{п.м.} * (F - f_в)}, \qquad (3)$$

где: $Y_{п.м.}$ - сток с поверхности склона между волоками, а обозначения с индексом “в” относятся к площади волоков.

Поверхностный сток с площади, занятой волоками, определяется выражением:

$$\mathbf{Y_{п.в.} = X - K'_{в.п.} * T - 0{,}2\ K''_{в.пов.} * \tau e_{\,пов.}} \qquad (4)$$

Как известно, продолжительность склонового стекания воды определяется расстоянием между ручейковой сетью 1, шероховатостью m склона и уклоном склона J:

$$\tau = \left(\frac{l}{m \cdot \sqrt{J} \cdot \sqrt{\mathrm{K}}} \right)^{0,667} \quad (5)$$

Для поверхностного стока по волокам:

$$\tau_{пов.} = \tau_{е.пов.} * \left(\frac{l}{L} \right)^{0,667} = \frac{\tau_{Е.ПОВ.}}{N^{0,667}} \quad (6)$$

Поверхностный сток между волоками равен:

$$Y_{п.м.} = X - K'_{м.пов.} * T - 0,2\, K_{м.пов.} * \tau_{пов.}, \quad (7)$$

где $K_{м.пов.}$ - интенсивность инфильтрации между волоками.

Общий сток со склона, нарушенного рубкой, равен сумме поверхностного и внутрипочвенного. На волоках внутрипочвенный сток отсутствует, поэтому $Y_{общ.} = Y_{пов.в}$. Уравнение для общего стока с нарушенного рубкой склона выглядит следующим образом:

$$Y_{н.(общ.)} = X - H_{н.з.} - K'_е * T - 0,3\, K''_е\, \tau_н, \quad (8)$$

где: $\tau_н$ - продолжительность спада на участках между волоками, равная :

$\tau_н = \tau_е * \frac{1}{N}$; $H_{н.з.}$ - почвенное задержание между волоками.

Таким образом, изменение склонового стока в результате технологических нарушений почвенного покрова происходит в сторону увеличения, и в особенности - поверхностного стока. Наиболее значительно сказываются изменения поверхности склона после рубок на увеличении высоты максимума паводка. Из модели полного стока следует:

$$Q = h_{осадк.} - K'_{пов.}, \quad (9)$$

где: $h_{осадк.} = \frac{\Delta}{t^{n}_{ПОВ.}}$, Δ - сила дождя, т.е. наибольшая единичная интенсивность за дождь; $t_{пов.}$ - время добегания; n - показатель редукции осадков, для Кавказа равный n = 0,667 .

Время добегания определяется:

$$t_{пов\cdot} = \left(\frac{l}{m \cdot \sqrt{J} \cdot h^{0,5} oc \cdot \sigma^{0,5}} \right)^{0,667} \qquad (10)$$

Для склона с нарушенной поверхностью время добегания равно:

$$t_{пов.н.} = t_{пов.е.} \left(\frac{l}{L} \cdot \frac{\sigma_{Е}}{\sigma} \right)^{0,667} = t_{пов.е} \frac{1}{N \cdot \xi} \qquad (11)$$

Здесь: ξ - коэффициент форсирования стока, равный: $\varsigma = \frac{Y_{ПОВ.}}{Y_{ПОВ.Е}}$ (12)

Средняя интенсивность инфильтрации за время добегания определяется соотношением:

$$K_{ПОВ.} = \frac{K_{ПОВ.} \cdot f_{В} + K_{Н.ПОВ.}\left(F - f_{В}\right)}{F} \qquad (13)$$

Отсюда следует, что как объем паводков, так и максимальные расходы воды, стекающей со склонов, нарушенных прокладкой волоков и уплотнением почвы при рубках, определяются количеством и площадью волоков, а также уменьшением фильтрационных свойств между волоками. При этом всегда коэффициент форсирования стока на склонах после рубки должен быть больше 1 и в лучшем случае равен 1.

4.2 Экспериментальные данные по стоку с малых водосборов

Исследования показали, что формирование речного стока можно разделить на две фазы. Первая фаза включает образование склонового стока, возникающего за счет превышения выпадающих осадков на горный склон над процессами впитывания и почвенного задержания влаги. Далее рассмотрены закономерности, воздействующие на генезис ручейкового стока на предельно малых участках площади водосбора, которые можно назвать элементарными водосборами. На величину и режим склонового стока влияют как стоко-образующие факторы (осадки, испарение и другие элементы климата, подчиняющиеся закону географической зональности), так и факторы подстилающей поверхности.

Бассейны горных рек обычно охватывают не менее 2-х ландшафтно-климатических зон. Факторы же подстилающей поверхности

имеют местное значение и относятся к разряду азональных. Интегральным показателем подстилающей поверхности является площадь водосбора. В горных районах для формирования речного стока существенное значение имеет высотное положение водосбора, характеризуемое его средней высотой над уровнем моря. С этими двумя характеристиками связана величина глубины эрозионного вреза русла водотока, т.е. разность между средней высотой бассейна и средней высотой продольного профиля реки. С возрастанием глубины эрозионного вреза возрастает сток.

Геоэкологической основой изучения стока на различных уровнях должны быть геоинформационные системы (ГИС) с оцифровыванием и взаимной увязкой всех видов топографической, геоморфологической, гидрологической, метеорологической, биологической и других видов экологической информации. При этом в основе концептуального решения этих исследований должны учитываться:

- многоуровневость (иерархичность) почвенно-растительных сообществ, и как следствие (в соответствии с законом эмерджентности) – проявление на каждом более высоком уровне свойств системы, отличных от свойств систем более низкого ранга;

- цикличность в экологических сообществах, предполагающая восстановление экосистем на основе сукцессионных процессов;

- приложение (действие) в природных сообществах статистических закономерностей (в связи со сложностью взаимодействия экологических факторов в системах, причем с увеличением ранга системы эти взаимодействия должны упрощаться).

Процессы формирования стока на горных склонах склонов характеризуются большой сложностью. Как отмечено выше, факторы, влияющие на формирование стока, делятся на группы: метеорологические (количество осадков и форма графика дождя), влияющие на динамику поступления воды в бассейн; условия подстилающей поверхности, которые определяют процессы инфильтрации и стекания воды, а также потери стока.

От метеорологических факторов зависит поступление воды на

водосбор, динамика его во времени, количество поступившей воды. От факторов подстилающей поверхности зависят условия стекания воды, потери поверхностного стока, которые определяются характером почвы, водным балансом рассматриваемой территории, а также временем, необходимым для стока того или иного количества осадков, выпавших на бассейн. К числу факторов, влияющих на быстроту и продолжительность движения этих вод, относятся величина и форма бассейна, уклоны, русловые условия водотоков, длина и шероховатость склонов, связанная с характером растительности и микрорельефом, объем и интенсивность поступления воды на бассейн.

Поскольку хозяйственная деятельность человека обычно затрагивает в основном растительность, почвы и микрорельеф водосборов, т.е. те факторы, которые влияют на перераспределение стока между быстрой (поверхностной) и медленной (грунтовой) составляющими, изучение процессов стока неразрывно связано с изучением инфильтрации. Сток и инфильтрация взаимосвязаны между собой, с одной стороны - как приходно-расходные части баланса, а с другой - инфильтрация определяет и регулирует сток, и наоборот, сток воздействует на инфильтрацию величиной залитой части бассейна. Склоновый сток в горах, состоящий из поверхностного и внутрипочвенного, формируется за счет превышения интенсивности ливня над минимальным впитыванием.

Из-за чрезвычайной сложности взаимосвязей факторов стока описать математическими зависимостями процесс формирования стока является очень трудной задачей. В основу обобщения результатов экспериментальных исследований и определения расчетных формул положен генетический анализ комплексного явления фильтрации и стока, выделяя при этом наиболее важные действующие факторы. Разность между осадками и просачиванием в почво-подстилающий относительный водоупор при отсутствии задержания называют паводковым или общим водообразованием. Если путь добегания волны стока меньше длины склона, то в замыкающем створе будет наблюдаться неполный сток (так называемый “незавершенный” сток), и гидрограф его представляет собой линейный треугольник из ветви подъема и ветви спада

(Бефани, 1957). В общем случае, слой водообразования определяется разностью:

$$S_t = X - k*T - \Delta H, \qquad (14)$$

Формула (14) включает как внутрипочвенный сток, так и подпертый поверхностный, образующийся после полного насыщения почвогрунта, т.е. после достижения максимально возможного на данном склоне модуля внутрипочвенного стока. Форма гидрографа суммарного склонового стока будет определяться соотношением поверхностной и внутрипочвенной составляющей. Для расчета параметров формулы склонового стока используется как аналитический метод (анализ наблюдений на естественных водосборах), так и синтетический, основывающийся на материалах экспериментальных исследований процессов впитывания на водосборе.

Синтетическим, или инфильтрационным методом можно вычислить водообразование, исходя из графика дождя и используя кривые впитывания. Отсекаемая инфильтрационными кривыми на графике дождя площади составляют величину слоя стока, определяемого превышением интенсивности дождя над интенсивностью инфильтрации. Аналитический метод, предложенный А.Н. Бефани (1966), основан на использовании общего балансового уравнения склонового стока. Необходимые данные о величине потерь стока получают путем анализа графика связи слоя стока со слоем стокообразующих дождей.

4.3 Влияние крутизны склона на склоновый сток

По данным экспедиционных исследований склонового стока, горные склоны отличаются большим варьированием по площади величин впитывания даже в опытах с искусственным дождеванием площадок 100…200 м2. Исследования в бассейне р. Мзымты (Битюков, 2007) показали, что процесс формирования стока на горных склонах имеет ряд особенностей, характерных для данной зоны. Опыты по дождеванию больших площадок на лесных склонах дали величины впитывания в почво-подстилающий слой 0,07…0,08 мм/мин. Относительно высокая

инфильтрация в подпочву сочетается с большой мощностью пластов рыхлых отложений, что приводит к повышению доли грунтового питания и распластыванию паводков в связи с сокращением поверхностного склонового стока и ростом медленного грунтового.

Благодаря тому, что бурые лесные почвы характеризуются большой начальной водопроницаемостью и аккумулирующей емкостью (до 500…550 мм), а также значительным крутизнам склонов, что способствует быстрому оттоку паводковых вод, дожди, выпавшие в зоне буковых лесов, практически никогда не образуют сплошного слоя воды на поверхности почвы. Поэтому интенсивность впитывания здесь определяется интенсивностью ливней.

Ввиду большого варьирования участков с различным впитыванием - от провального до нулевого - истинное усредненное значение интенсивности инфильтрации для бассейна более надежно может быть получено по результатам наблюдений за осадками и стоком. Для малых (до 10 га) водосборов по опытным данным (с использованием методики А.Н. Бефани (1967), в основу которой лежит построение графиков ливней и выделение на них площадей, равных наблюденному стоку) установлено, что впитывание здесь очень динамично во времени и определяется степенью предшествующего увлажнения. При этом паводкообразующими могут быть ливни различной величины: летом, при значительном дефиците влаги в почве ливни с суммой осадков до 50 мм иногда не дают стока; в то же время в холодный период года, при полностью увлажненной почве стокообразующими являются дожди 10…12 мм.

На рис.20 представлен график связи коэффициента склонового стока от крутизны склона (град.), который имеет аналитическое выражение $Y= 0.6427*X+0.342$ при $R^2 = 0.929$. Зависимость эта получена по результатам дождевания монолита почвы 0,5м х0,5м х1,0 м при различных углах наклона

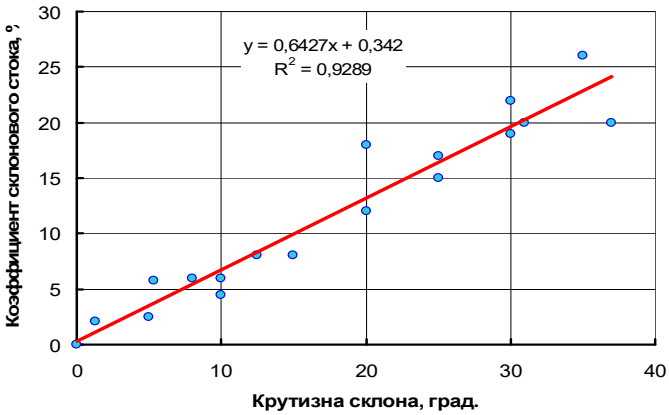


Рисунок 20 – Зависимость склонового стока (в %) от крутизны склона (град.)

4.4 Влияние на сток режима дождевых осадков

Влияние графика дождя на формирование стока. С целью определения трансформации ливней пологом древостоя производились параллельные записи плювиографами на открытом месте и в лесу. Плювиограф в лесу располагался под серединой кроны. За период наблюдений для анализа взяты 36 наиболее характерных ливней, часть их приведена на рис. 21. В результате анализа результатов наблюдений установлено, что трансформация каждого ливня пологом древостоя зависит от формы графика дождя. Наибольшей трансформации подвергаются ливни со сложными графиками (с максимальной интенсивностью 0,4…1,0 мм/мин и продолжительностью 1,5…12 час.), а наименьшей - короткие, но очень интенсивные ливни (максимум выше 1,0 мм/мин), причем влияние полога различно в разные фазы дождя - начало дождя в лесу наступает позже, чем на открытом месте - в зависимости от интенсивности, от нескольких минут (при i> 0,5 мм/мин) до 2,5 часов (при i < 0,01 мм/мин).

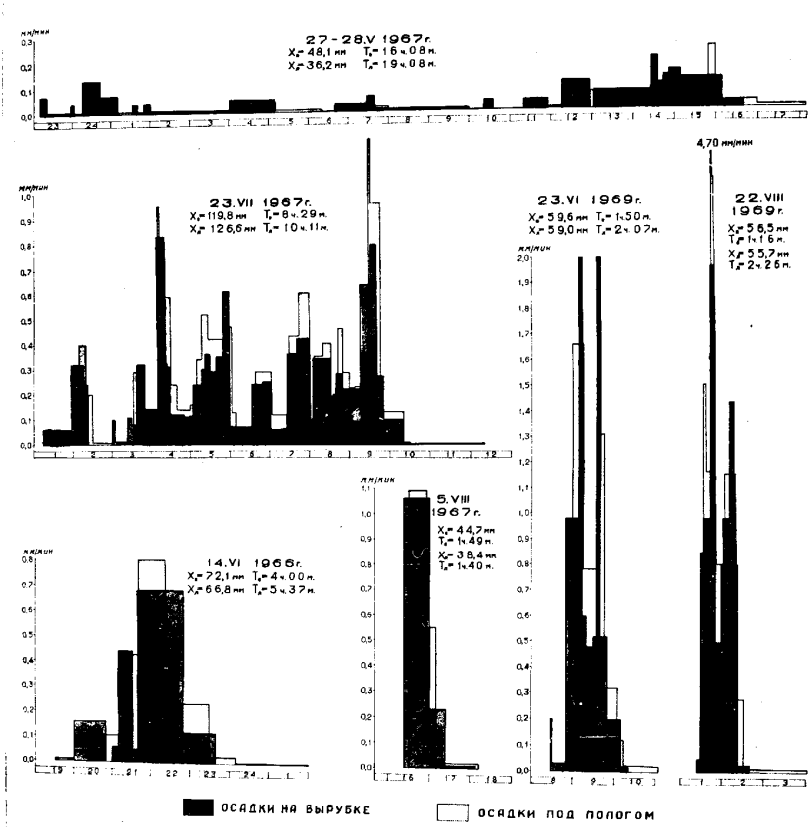


Рисунок 21 - Основные типы графиков ливней различной интенсивности (по наблюдениям в буковых древостоях ЛГС «Анбга»).

Наблюдения показывают, что можно выделить 3 типа графиков дождей:

а) Дожди с максимальными интенсивностями не более 0,4 мм/мин. Продолжительность их колеблется от 4-5 до 35 часов. Это обычно сложные графики с несколькими пиками интенсивностей, хотя очертания графиков довольно плавные. Из общего числа анализируемых графиков к данной группе относится 45% дождей.

б) Ливни с максимумами от 0,4 до 1,0 мм/мин и продолжительностью от 1,5 до 12 часов. Их графики могут иметь как наиболее простой

вид (единичный дождь), так и самый сложный с 3-5 пиками интенсивностей. Катастрофические ливни обычно входят именно в эту группу. К ней относятся 1/3 общего числа ливней.

в) Ливни с максимумами выше 1,0 мм/мин. Они имеют малую продолжительность – 1-3 часа, и не более 2 пиков интенсивности. При выпадении на увлажненную почву они также могут дать катастрофические паводки.

Из выделенных групп наибольшей трансформации лесной растительностью подвергаются ливни 2 группы, а наименьшей – 3 группы. Причём влияние полога различно в разные фазы дождя. Вначале лес задерживает некоторое количество осадков, идущих на заполнение ёмкости перехвата. Благодаря этому, начало дождя в лесу наступает позже, чем на открытом месте – в зависимости от интенсивности, от нескольких минут (при i> 0,5 мм/мин) до 2,5 часов (при i<0,001 мм/мин). Затем часть аккумулированных ёмкостью осадков сдувается ветром и сбивается каплями интенсивного дождя. Результатом этого бывает иногда увеличение мгновенной интенсивности под кронами деревьев. По окончанию дождя на открытом месте в лесу ещё долгое время наблюдаются осадки, образуемые капельками, сбиваемыми ветром с веток. За счёт шлейфа дождя увеличивается его продолжительность под пологом и уменьшается средняя интенсивность.

Помимо определения общей величины перехвата осадков, с гидрологической точки зрения важно знать влияние лесного полога на график дождя. Из литературы известно, что для малых водосборов форма гидрографа стока определяется не только характеристиками бассейна, интенсивностью и продолжительностью осадков, но и формой графика дождя. Так, моделирование стока (Зимонт, Супрунов, 1967) показывает увеличение максимальных расходов от дождей с переменной интенсивностью в 2,7 раза по сравнению с максимумами от таких же дождей, но с постоянной интенсивностью.

Можно сделать вывод о том, что влияние лесной растительности на дождевые осадки заключается в следующем. Благодаря явлению перехвата, в лесу наблюдается поле осадков, в котором их слои подчи-

няются закону нормального статистического распределения, характеризуемому среднеквадратическим отклонением. При этом величина последнего определяется слоем осадков: чем больше осадки, тем больше среднеквадратическое отклонение и тем меньше коэффициент вариации. Общий перехват всем насаждением увеличивается с ростом количества осадков за дождь. Ёмкость перехвата играет роль частичного аккумулятора дождя, благодаря чему усложняются графики ливней в лесу, удлиняется их продолжительность и снижается средняя интенсивность.

По результатам наблюдений на лесных водосборах площадью до 20 га получены уравнения множественной корреляции, связывающие коэффициенты склонового стока с характеристиками стокообразующих ливней и факторами предшествующего увлажнения:

$$\alpha = 10,5 * i_{ср} + 6,7 * i_{max\,ч} - 0,045\,T - 0,064 * \Delta W + 5,7;\ R=0,61;\ S=2,7\% \quad (15)$$

Для расчета слоя склонового стока на таких водосборах получена зависимость:

$$Y = X - k*T - 0,032\,\Delta W - 6,86 \quad (16)$$

Здесь: Y - слой стока в мм; α - коэффициент стока за паводок в %; X - слой паводко-образующего дождя; k - интенсивность впитывания; T - продолжительность ливня в мин.; $i_{ср}$ - его средняя интенсивность, а $i_{max\,ч}$ - максимальная часовая интенсивность ливня в мм/мин; ΔW - дефицит влаги в 1-метровом слое почвы перед паводком в мм; R- коэффициент множественной корреляции, S – ошибка уравнения. .

Средние интенсивности ливней под пологом леса уменьшаются по сравнению с открытым местом в соответствии с зависимостью:

$$\mathbf{i_{ср.л.} = 0,45 * i_{ср.о.} + 0,01} \quad \text{мм/мин.} \quad (17)$$

которая оценивается коэффициентом корреляции r = 0,791±0,057**.**

Продолжительность дождей в лесу больше, чем на открытом месте:

$$\mathbf{T_л = 1,31 * T_o}\ , \quad \text{при } r = 0,846 \pm 0,051 \quad (18)$$

Указанные зависимости характеризуют трансформацию ливней под серединой крон деревьев. Весь древостой в целом, по-видимому, несколько сглаживает различия в графиках дождей в лесу и на вырубке.

В зависимостях (17) и (18) : $\mathbf{T_{лес}}$ **и** $\mathbf{i_{ср.лес}}$ - продолжительность и ин-

тенсивность дождя в лесу, а T_o и $i_{ср.о}$ - на открытом месте. (рис.22)

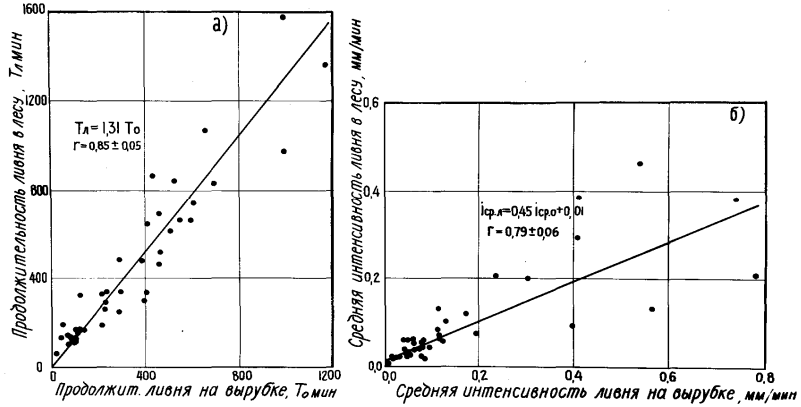


Рисунок 22- Влияние лесной растительности на параметры графика дождя (по наблюдениям на ЛГС «Аибга»)

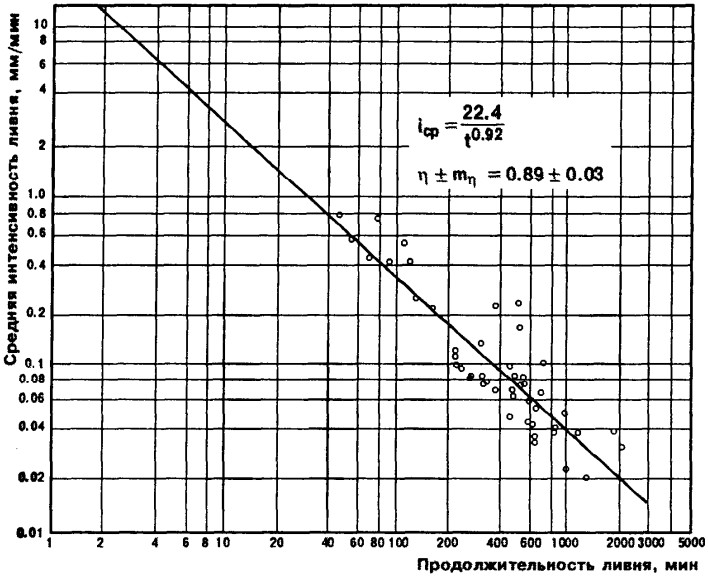


Рисунок 23 - Зависимость средней интенсивности ливня от продолжительности дождя (по наблюдениям на ЛГС “Аибга)”

Указанные зависимости характеризуют трансформацию ливней под серединой крон деревьев. Весь древостой в целом, по-видимому, несколько сглаживает различия в графиках дождей в лесу и на вырубке.

На рис. 23 приведен график связи интенсивности ливней от их продолжительности, полученный по результатам наблюдений на ЛГС «Аибга». В связи с тем, что в горных условиях количество осадков зависит от высоты и ориентации склонов, для расчета средних сумм осадков по каждому элементарному водосбору должны вноситься поправочные коэффициенты, учитывающие плювиометрические градиенты (увеличение осадков с высотой для холодного времени года в среднем равно 5,0 % на 100 м подъема, а для теплого сезона - 4,1 %). С учетом гипсографических кривых бассейнов полученные поправочные коэффициенты на увеличение осадков с высотой учтены при балансовых расчетах.

4.5 Гидрологическая роль почвенного покрова

Главной причиной эрозии почв на горных склонах является поверхностный сток. Сложность биоклиматических условий, разнообразный состав горных пород в пределах региона представляют весьма пестрый почвенный покров. Эти почвы глинистые, имеют рыхлое и среднерыхлое сложение. Мощность их изменяется в широких пределах - в зависимости от почвообразующих пород и элементов рельефа. При плотных горных породах и крутых склонах она минимальна. Наиболее маломощные (до 40 см) и среднемощные (до80 см) разности. Наиболее обстоятельные исследования лесных почв региона выполнены С.В.Зонном (1950), И.П.Герасимовым (1951), А.И.Никитиным и Н.В.Куклиным (1951) и др. С.В. Зонн (1950) отмечает, что лесная растительность с сопутствующими микрофлорой и животным миром являются ведущими в почвообразовании, что иллюстрируется данными табл.2..

Леса в пределах Краснодарского края (включая леса Адыгеи) занимают 1808 тыс. га, и находятся в различных природных условиях от субтропиков Черноморского побережья до степей зоны Кубани. Из твердолиственных пород в лесах Кубани преобладают: дуб - 54%, бук - 20%,

граб - 7%; из хвойных пород: пихта - 2,7%, сосна - 2,7%. Каштан съедобный занимает 3,4% площади, ольха - 2.0%, тополь - 2,7%.

Таблица 2 Распределение площади лесного фонда Краснодарского края по лесорастительным формациям и типам почв

Лесорастительные формации (породы)	Площадь гослесфонда, тыс.га	Процент от общей площади	Типы почв
1	2	3	4
Д у б	976,3	54,0	
дуб пушистый	318,3	17,6	перегнойно-(дерново) карбонатные
дуб скальный	414,7	22,9	бурые горнолесные
дуб черешчатый	209,3	11,6	серые лесные
дуб Гартвиса	34,0	1,9	серые и бурые лесные
Бук	361,6	20,0	бурые горнолесные
Граб	126,6	7,0	бурые горнолесные
Пихта	48,8	2,7	бурые горнолесные
Сосна	48,8	2,7	бурые горнолесные карбонатные
Каштан съедобный	61,5	3,4	бурые горнолесные
Ольха	36,2	2,0	луговые и лугово-лесные
Тополь	48,8	2,7	пойменные луговые и лугово-лесные, горные черноземы, альпийские и субальпийские
Прочие	99,4	5,5	

Наибольшее распространение в регионе имеют ***бурые горнолесные почвы*** - 56% по площади. В пределах Колхидской провинции (юго-восточная часть региона) они занимают 73% площади. Бурые почвы формируются преимущественно под букняками и дубравами.

Одной из наиболее существенных физических характеристик почв общепризнано считать их объемный вес, или плотность. С одной стороны, как отмечают И. Б. Ревут (1962, 1972), В. С. Шумаков (1970, 1973) и др., объемным весом почвы (для одинаковых почвенных разностей) определяется водный, воздушный и температурный режимы и, следовательно, биохимические процессы в почве и режим основных элементов

питания растений. С другой стороны, гидрологическая роль лесной растительности в значительной мере проявляется благодаря влиянию леса на водно-физические характеристики почв и прежде всего — на их объемный вес (плотность).

В настоящей работе на примере почв, сформировавшихся под буковыми и дубовыми лесами Черноморского побережья Кавказа, нами предпринята попытка рассмотреть объемный вес и другие водно-физические свойства почв в роли формирования склонового стока в различных лесорастительных условиях.

На Черноморском побережье Кавказа (РФ) леса занимают свыше 80% территории. По лесорастительному районированию (Коваль, Несветаева, 1972) здесь выделены две лесорастительные провинции— Новороссийская и Колхидская с границей между ними по р. Агой (севернее г. Туапсе). Наибольшее распространение на побережье имеют бурые горнолесные почвы — 51% по площади. В пределах Колхидской провинции (юго-восточная часть побережья) они занимают 73% площади. Другим широко распространенным типом являются перегнойно-карбонатные горнолесные почвы (25%). Они преобладают в Новороссийской провинции (43%) и формируются на плотных осадочных породах — известняках и мергелях. Бурые и перегнойно-карбонатные горнолесные почвы обладают прочной зернисто-комковатой структурой и устойчивы против эрозии.

Значительно менее распространены: горные коричневые почвы (10%), аллювиальные почвы речных долин (8%), альпийские и субальпийские (5%).

Бурые и перегнойно-карбонатные почвы формируются преимущественно под букняками и дубравами, которые занимают соответственно 23 и 54% лесопокрытой площади. Ранее нами показано (Коваль, 1968; Битюков, Коваль, 1968), что на побережье наиболее представлены буковые древостои I—II классов бонитета (типы леса — разнотравно-ежевиковый, колхидский), и дубовые насаждения III—IV бонитета (типы леса — азалиевый, грабовый, грабинниковый).

Для выполнения условия репрезентативности результатов, ис-

следования проводили в наиболее распространенных типах леса и почв: дубравах азалиевых, грабовых и грабинниковых (бурые лесные и перегнойно-карбонатные почвы); букняках разнотравно-ежевиковых, колхидских (бурые лесные почвы). Изучение состояния поверхности почвенного покрова и отбор образцов почв для лабораторных исследований осуществлялись на временных и постоянных пробных площадях, заложенных в незатронутых и изреженных рубками буковых и дубовых насаждениях.

Объемный вес определялся с помощью почвенного бура БП-50 (монолитами объемом 500 и 250 $см^3$). Для оценки точности определения плотности почвы буром БП-50 произведено сравнение данных, полученных на БП-50, с величинами плотности по монолитам объемом 1000 $см^3$ (параллельными отборами образцов). Полученные результаты подтвердили возможность использования монолитов объемом 500 и 250 $см^3$.

Взятые почвенные образцы использовались для определения предельной полевой (наименьшей) влагоемкости по общепринятой методике (Федоровский, 1965; Вадюнина, Корчагина, 1973). Кроме того, монолиты объемом 500 $см^3$ подвергались фильтрованию по методу Канараке (Ревут, 1972). Принцип этого метода состоит в фильтровании воды через почвенные образцы, взятые в ненарушенном состоянии, на установке, смонтированной по С. В. Астапову (Вадюнина, Корчагина, 1973). Монолит высотой 10 см заключался в металлический цилиндр, по внутреннему кольцу заливался стеарином для предохранения от пристенной фильтрации, и подвергался фильтрованию при постоянном градиенте 10—20 мм. Величины скорости фильтрации, полученные при стабилизации процесса просачивания воды через монолит (т. е. в конце опыта), представляют собой так называемый «условный коэффициент фильтрации» (УКФ). В отличие от интенсивности впитывания воды почвой в естественных условиях, УКФ характеризует скорость движения воды при установившемся режиме только для горизонта почвы, из которого взят образец. В природных же условиях коэффициент фильтрации определяется водопроницаемостью наиболее плотных (и следовательно, наименее проницаемых) горизонтов в почвенном профиле.

Рассмотрим изменение объемного веса почвы по площади под пологом незатронутых хозяйственной деятельностью насаждений в основных растительных формациях побережья — букняках Колхидской и дубравах Новороссийской провинций. В таблице 3 приведены результаты статистической обработки распределений объемного веса верхнего 10—13 см слоя почвы по площади.

Таблица 3 - Параметры статистических распределений объемного веса поверхностного слоя почвы под пологом незатронутых рубкой лесов

Статистические параметры	Букняки	Дубравы
Число определений	91	75
Среднее ряда, ρ г/см3	0,92 ±0,01	1,21 ±0,01
Среднеквадратич. отклонение σ г/см^3	0,13±0,01	0,13±0,01
Коэффициент вариации, C_v %	13,6±1,0	10,5 ± 0,9
Коэффициент асимметрии, C_s	0,04 ±0,26	0,03 ±0,28
Эксцесс, Е	-0,01 ±0,51	-0,69 ±0,56
Точность определения средней, Р%	1,4	1,2

Анализ статистических параметров (табл. 3) показывает, что объемные веса поверхности почвы в лесу варьируют в небольших пределах — коэффициент вариации составляет 10— 14%. Асимметрия и эксцесс статистических рядов близки к нулю, что позволяет отнести статистические распределения объемного веса к нормальным рядам, к которым применимо t - распределение Стьюдента. Статистические ряды объемных весов различаются в основном лишь своими среднеарифметическими. Так, для почв под буковыми древостоями средний объемный вес поверхностного горизонта получен равным 0,92 г/см^3, а для дубрав — 1,21 г/см^3, т. е. в 1,3 раза больше.

Поскольку варьирование объемного веса почвы под пологом леса невелико, оказалось возможным построение обобщенных кривых изменения объемного веса с глубиной. На рис. 24 представлены эти кривые, построенные: для бурых почв под букняками — по данным 86 измере-

ний, для перегнойно-карбонатных и бурых почв под дубравами — по 80 измерениям объемного веса. Для буковых лесов корреляционная зависимость объемного веса (ρ г/см^3) от глубины слоя (h см) имеет следующий вид:

$$\rho = 0{,}58 + 0{,}155 \ln h \qquad (19)$$

Зависимость (19) оценивается высоким корреляционным отношением η=0,87±0,04 со средней ошибкой уравнения S=0,08 г/см^3

Для дубрав аналогичная зависимость выглядит следующим образом:

$$\rho = 0{,}85+0{,}17 \ln h \qquad (20)$$

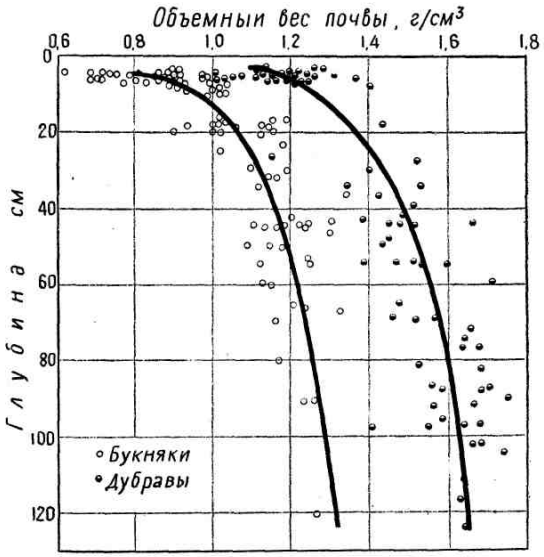


Рисунок 24 Изменение объемного веса бурых лесных почв с глубиной в буковых и дубравах Черноморского побережья.

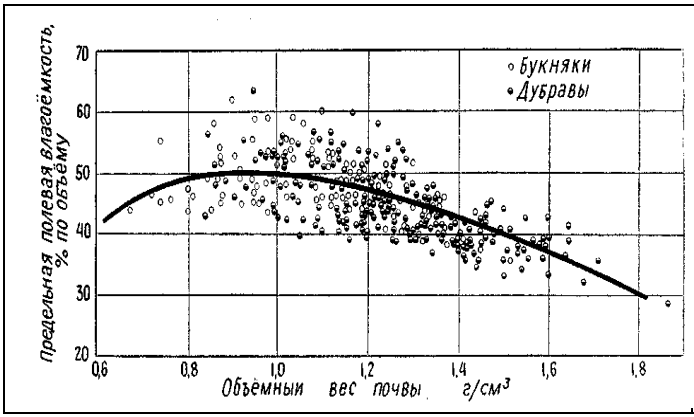


Рисунок 25- Зависимость предельной полевой влагоёмкости бурых лесных почв от объемного веса.

Уравнение (20) оценивается корреляционным отношением η=0,89±0,03 и средней ошибкой S=0,10 г/см^3. Таким образом, средний объемный вес почв с глубиной возрастает по логарифмическому закону. При этом бурые лесные почвы под буковыми лесами по всему метровому профилю имеют плотность примерно на 30% меньше, чем перегнойно-карбонатные и бурые лесные почвы дубовых лесов. Ввиду достаточной тесноты корреляции зависимости (19) и (20) могут быть использованы в качестве расчетных.

Связь предельной полевой влагоёмкости почвы с ее объемным весом представлена на рис. 25.

Анализ этой зависимости на ЭВМ для отдельных типов леса и лесных формаций показал несущественное расхождение между ними. В связи с этим оказалось целесообразным обработать экспериментальные данные по водно-физическим свойствам почвы для дубовых и буковых лесов совместно. В результате получена следующая эмпирическая зависимость (при числе определений n = 350):

$$\text{ППВ} = \frac{403 * \rho^2}{e^{2,1*\rho}} \qquad \eta = 0,66 \pm 0,03 \quad S = 4,7\ \% \qquad (21)$$

здесь ППВ — предельная полевая влагоемкость, % по объему; р — объемный вес г/см^3. Зависимость имеет максимум влагоемкости при объемном весе около 1,0 г/см^3. При дальнейшем уплотнении предель-

ная полевая влагоемкость уменьшается.

Уменьшение влагоемкости при объемных весах менее 1 связано с увеличением количества крупных пор, которые заполняются свободной гравитационной водой. При объемном весе почвы более 1 общая пористость уменьшается, что дает убывание предельной влагоемкости.

В ряде работ (Афанасьева, Панфилов, 1969; Грин, 1971; Гаврик, Назарова, 1973) приведены надежные корреляционные связи между содержанием различных видов влаги в почве (наименьшая влагоемкость, максимальная гигроскопичность и др.) и ее механическим составом. Однако, при попытках установить корреляцию между водопроницаемостью и объемным весом почвы получены результаты менее удовлетворительные. Так, П. А. Гаврик и Д. И. Назарова (1973) получили коэффициенты корреляции между водопроницаемостью и объемным весом почвы r=0,39±0,14, а между впитывающей способностью и механическим составом — от 0,02 до 0,48. По данным А. М. Грина (1971) коэффициент корреляции между водопроницаемостью и объемным весом r=-0,28. Таким образом, очень низкие коэффициенты корреляции указанных зависимостей не позволяют достоверно утверждать наличие прямой или обратной связи между водопроницаемостью и объемным весом почв. На наш взгляд, это объясняется отчасти методическими погрешностями опытов по определению водопроницаемости при помощи прибора ПВН, так как при постановке таких опытов на рыхлых грунтах отмечается интенсивное растекание воды за пределы расчетной площади прибора.

Нами предпринята попытка установить зависимость фильтрационных свойств почвы от ее объемного веса путем послойного определения этих параметров до метровой глубины почвенного профиля. Для бурых лесных почв под буковыми лесами произведено 92 определения условного коэффициента фильтрации (УКФ), а для дубрав — 150. Полученные результаты приводятся на рис. 24 и 25 в виде зависимостей УКФ = f (p) в полулогарифмическом масштабе. Осреднение опытных точек позволило установить гиперболический вид зависимости: при малых плотностях почвы скорость фильтрации резко возрастает, а в

нижней части асимптотически приближается к нулю при максимально возможных для данного типа почв объемных весах. В пределах опытных точек для почв буковых лесов зависимость на рис. 26 описывается уравнением:

$$УКФ = \frac{8{,}3 * 10^6}{2{,}8^{\rho} * 10^{5\rho}} \qquad \eta = -0{,}87 \pm 0{,}02 \qquad (22)$$

Для почв дубрав (рис. 27) аналогичная зависимость имеет следующий вид:

$$УКФ = \frac{8{,}7 \bullet 10^6}{1{,}2^{\rho} \bullet 10^{6\rho}} \qquad \eta = -0{,}68 \pm 0{,}05 \qquad (23)$$

Здесь: УКФ в мм/мин, ρ — объемный вес в г/см^3.

Величины УКФ для почв дубрав значительно выше, чем для почв букняков, причем эта разница возрастает с уменьшением объемного веса. Различие в УКФ для почв дубовых и буковых лесов является следствием неодинакового механического состава изучаемых почв (табл. 4).

Почвы буковых лесов Колхидской провинции характеризуются тяжелым механическим составом: в верхних горизонтах они легкоглинистые, иловато-пылеватые; в нижних — средне- тяжело-глинистые, пылевато-иловатые. В сравнении с ними лесные почвы дубрав Новороссийской провинции содержат почти в два раза больше физического песка, в связи с чем фильтрационные свойства этих почв выше.

Скелетность верхних горизонтов почв под буковыми и дубовыми насаждениями существенно различна. Результаты, приведенные в таблице 5, получены отмывкой монолитов, подвергавшихся фильтрованию, с последующей сушкой и взвешиванием фракций крупнее и мельче 3 мм. Как показали исследования, для бурых лесных почв под букняками характерна очень малая каменистость — в среднем 1,4% по объему, в том числе частиц крупнее 3 мм — 0,8%. Растительные включения (в основном корни) составляют в среднем 2,1% по объему, а общий объем твердых включений — 3,5% по объему.

В зоне дубрав каменистость почв колеблется от 4,6 до 16,3% по объему, составляя в среднем 9,3%, в том числе частиц крупнее 3 мм —

6,4%. Растительных включений здесь меньше — около 1%.

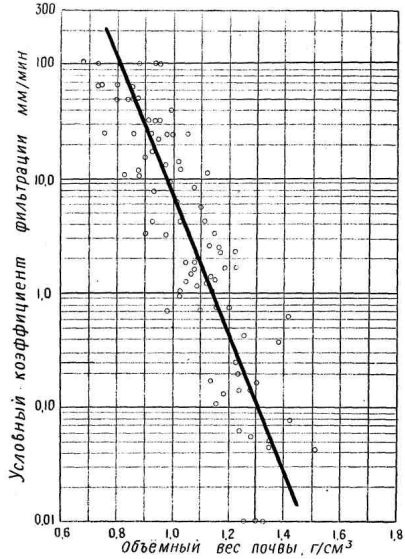


Рис. 26. Зависимость условного коэффициента фильтрации от объемного веса для бурых лесных почв под буковыми лесами побережья

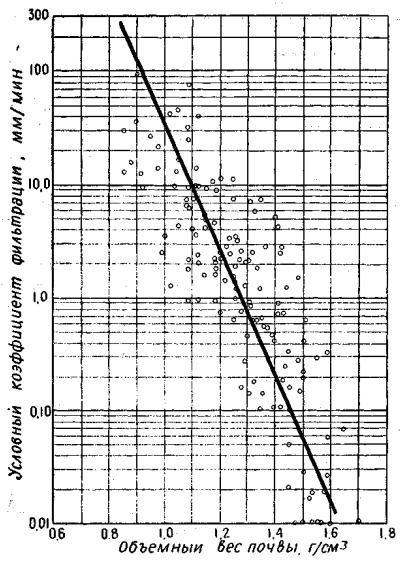


Рис. 27. Зависимость условного коэффициента, фильтрации от объемного веса для бурых лесных и перегнойно-карбонатных почв в дубравах побережья.

Таким образом, скелетность почв в дубравах в среднем в 6,6 раза превышает скелетность почв под буковыми насаждениями. Более легкий механический состав почв дубовых лесов и повышенное содержание в них скелета создают условия для увеличения УКФ в 4—8 раз по сравнению с почвами буковых древостоев.

Известно, что из всех хозяйственных мероприятий наибольшее влияние на состояние почвенного покрова и его водно-физические характеристики оказывают рубки главного пользования. При этом наиболее отрицательные последствия оказывают сплошные рубки с наземной тракторной трелевкой древесины.

Таблица 4 - Механический состав бурых лесных почв под букняками Колхидской провинции и дубравами Новороссийской провинции (усредненные величины в %%)

Средняя глубина слоя, см	Размер фракций, мм						Из них		Классификация почв по мех. составу (по Качинскому)
	1,0-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	менее 0,001	менее 0,01	более 0,01	
Буковые насаждения									
2—12	6,3	13,3	9,8	14,2	32,9	23,5	70,6	29,4	Гпина средняя
15—25	4,8	11,9	8,0	13,5	35,4	26,4	75,3	24,7	» »
40—50	4,7	9,2	9,2	13,6	36,0	27,3	76,9	23,1	» »
>65	2,0	6,1	7,4	18,0	30,6	35,9	84,4	15,5	Глина тяжелая
Дубравы									
1—4	8,3	9,1	24,1	36,2	4,4	17,9	58,5	41,5	Глина легкая
10—20	7,1	5,5	19,9	42,5	6,3	18,7	67,5	32,5	Глина средняя
35—45	8,2	2,8	19,0	37,2	7,8	25,0	70,0	30,0	» »
>65	11,1	2,2	17,0	33,0	7,5	29,2	69,7	30,3	» »

При проведении первого приема постепенных и выборочных рубок отмечается значительно меньшая площадь нарушения почвенного покрова. В дубравах Северо-Западного Кавказа, на склонах до 10° (в лесах I группы) применяются преимущественно сплошнолесосечные рубки, на склонах от 10 до 20°—постепенные. Имеют место также и группово-выборочные рубки. В буковых лесах преобладают промышленно-выборочные и добровольно-выборочные рубки с наземной тракторной трелевкой древесины.

Состояние поверхности почвы после проведения лесосечных работ можно оценить в баллах следующими тремя категориями: 1 — повреждения отсутствуют; 2 — снесена подстилка, частично поврежден и уплотнен гумусовый горизонт почвы (до 10 см); 3 — пасечные и магистральные волоки, а также участки со значительным повреждением гумусового и иллювиального горизонтов (>10 см).

Таблица 5 – Скелетность верхнего 15-см слоя почв в буковых и дубовых насаждениях

Местонахождение участка, тип леса, хозяйственные мероприятия	Скелетность, % по объему		Растительные включения, % по объему	Общий объем твердых включений, %
	общая	частиц крупнее 3 мм		
1	2	3	4	5
Буковые насаждения				
Веселовское л-во, ЛГС «Аибга», букняк разнотравно-ежевиковый, сплошная свежая вырубка	0,5	0,2	1,8	2,3
То же, котловинная рубка	1,7	0,9	1,9	3,6
То же, добровольно-выборочная рубка	3,1	2,0	2,2	5,3
То же, нетронутое рубкой насаждение	0,4	0,1	2,4	2,8
Дубовые насаждения				
Анапское лесничество, дубрава грабовая, сплошная и санитарная рубки	8,9	5,9	0,5	9,4
Абрауское лесничество, дубрава грабовая, сплошная вырубка	16,3	12,1	0,4	16,7
Геленджик, Михайловское лесничество дубрава ясенево-грабовая сплошная и постепенная рубки	8,6	6,8	0,9	9,5
Геленджик, Архипо-Осиповское лесничество, дубрава грабовая, сплошная вырубка	6,1	3,5	1,0	7,1
Горячий Ключ, Фанагорийское лесничество, дубрава грабовая, сплошная вырубка	11,1	6,7	0,9	12,0
Горячий Ключ, Фанагорийское лесничество, дубрава грабовая, сплошная вырубка 5-летнего возраста	4,6	3,6	2,0	6,6

Исследованиями показано, что степень повреждения почвенного покрова достаточно надежно увязывается с изменением плотности поверхностных горизонтов почв. В таблице 6 даны величины плотности поверхностного 10-см горизонта почв на участках с различными катего-

риями повреждений при рубках в буковых и дубовых насаждениях. При одинаковых категориях повреждений почвы уплотнение зависит от способа рубки, технологии лесосечных работ, которыми определяются не только эксплуатационные повреждения почвы, но и последующие изменения ее физических свойств под влиянием естественных природных процессов.

Таблица 6 - Объемный вес поверхностного горизонта почвы в г/см^3 и степень повреждения при различных способах рубок

Способ рубки	Объемный вес при категориях повреждения почвы			Степень повреждения в % на 1 га		
	1	2	3	1	2	3
Буковые насаждения						
Промышленно-выборочная	1,06	1,12	1,21	43	42	15
Добровольно-выборочная	0,95	1,05	1,26	82	10	8
Дубравы						
Сплошно-лесосечная	1,15	1,21	1,40	13	46	41
Группово-выборочная, площадь окон 0,25 га на 1 га	1,15	1,27	1,43	87	9	4

С учетом принятых категорий повреждений почвы на 15 пробных площадях в буковых древостоях и 15 - в дубравах, была определена распространенность повреждений по площади в зависимости от способов рубки (таблица 6).

В буковых насаждениях, изреженных промышленными выборочными рубками 5—10 лет назад, площадь поврежденного почвенного покрова достигает 57% от общей. Восстановление структуры на поврежденных участках происходит медленно, при этом 15% площади имеют величины УКФ меньше 0,1— 0,2 мм/мин. На участках добровольно-выборочных рубок значительные повреждения почвенного покрова распространены лишь на 18% площади при минимальном УКФ около 0,2 мм/мин, а остальные 82% площади имеют УКФ более 3—5 мм/мин.

Прослежено, что с увеличением возраста вырубок происходит перераспределение соотношений между участками с различными категориями повреждения. За счет разрастания травяного покрова и возобновительного процесса уменьшается доля повреждений 2 и 3 категорий и, соответственно, увеличивается площадь с характеристиками 1 категории.

Средневзвешенный объемный вес почв при промышленно-выборочных рубках в буковых древостоях увеличивается до 1,11 г/см^3, а УКФ снижается до 2,0 мм/мин. При добровольно-выборочных рубках эти показатели составляют — 0,98 г/см^3 и 12,6 мм/мин.

В дубравах, на свежих сплошных вырубках 87% площади имеют значительные повреждения почвенного покрова. На долю второй категории повреждений приходится 46%, третьей — 41%; УКФ поверхностных горизонтов на таких участках уменьшается до 0,2 мм/мин. Средневзвешенный объемный вес почв на этих вырубках составил 1,29 г/см^3, а величина УКФ — 1,6 мм/мин.

При группово-выборочных рубках, с диаметром окон около 20—30 м и тракторной трелевкой древесины (на 1 га закладывается 4—5 окон) в среднем свыше половины поверхности почвы в окнах получают средние и сильные повреждения. В расчете на 1 га площади при таком способе рубки почва повреждается лишь на 13% при средневзвешенном объемном весе 1,17 г/см^3 и УКФ — 4,5 мм/мин.

Водорегулирующая роль почвенного покрова в лесу зависит не только от поверхностного впитывания, но определяется также и емкостью почвенного профиля, способной вместить то или иное количество осадков. По кривой связи УКФ = f (ρ) можно установить, что в букняках почва имеет величины УКФ меньше 0,1 мм/мин при среднем объемном весе 1,3 г/см^3, а в дубравах при ρ = 1,5 г/см^3. Согласно осредненной кривой в буковых насаждениях почва достигает объемного веса, равного 1,3 г/см^3 на глубинах более 1 м. В дубравах объемный вес почвы, равный 1,5 г/см^3, отмечается на глубине 0,4—0,5 м. Следовательно, глубина слоя быстрого впитывания в дубравах оказывается в 3 раза меньше, чем в букняках.

Используя полученные зависимости, определим усредненные параметры водно-физических свойств лесных почв под. буковыми и дубовыми насаждениями (таблица 6). Полученные расчетным путем по лабораторным данным величины водопоглощения хорошо согласуются с полевыми исследованиями. Так, предельная полевая влагоемкость в метровом слое для букняков — 470 мм — совпадает с НВ по многолетним стационарным наблюдениям за влажностью почвы, колебавшейся от 454 до 486 мм и составившей в среднем 470 мм. Для дубрав предельная полевая влагоемкость (390 мм в метровом слое) также почти совпадает с НВ=385 мм.

Сравнивая общее количество влаги, которую способен вместить слой почвы глубиной 1 м в букняках и дубравах, можно отметить, что водовместимость почв в букняках на 120 мм выше, чем в дубравах. По свободной гравитационной влаге это превышение составляет 40 мм.

Для оценки водорегулирующей роли лесных площадей практическое значение может иметь водовместимость той части почвенного слоя, которая характеризуется впитыванием, превышающим интенсивность выпадающих осадков. Для буковых лесов общая водовместимость метрового слоя почвы составляет 567 мм, а для дубрав в 50-см слое — 237 мм. По величине предельной полевой влагоемкости — соответственно 470 и 209 мм. Следовательно, свободная гравитационная влага в наиболее проницаемой части почвенного профиля в букняках составляет 97 мм, а в дубравах — всего 28 мм, т. е. в 3,5 раза меньше.

Выводы. Изучение изменений объемного веса поверхностных горизонтов почв по площади в буковых насаждениях Колхидской и дубравах Новороссийской провинций, позволило установить нормальный закон статистических распределений этого показателя.

Объемный вес почвы хорошо коррелирует с основными водными свойствами лесных почв — водопроницаемостью и водовместимостью, и может служить в качестве интегрального показателя водорегулирующих свойств покрытых лесом площадей, отражать их изменения в связи с антропогенными факторами.

Таблица 7 - Изменение водно-физических свойств бурых лесных почв с глубиной (средние данные)

Показатели водно-физических свойств	Глубина слоя, см										Кол- во влаги в метровом слое, мм
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	
Удельный вес, г/см3	2,61	2,65	2,69	2,71	2,73	2,74	2,75	2,76	2,76	2,77	-
Буковые насаждения											
О В,г/см3	0,96	1,06	1,12	1,17	1,19	1,22	1,24	1,26	1,28	1,29	-
ОП, %	63,2	60,2	58,4	57,2	56,2	55,5	54,9	54,2	53,8	53,3	567
ППВ,%	50	49	48	47	47	46	46	46	46	45	470
КВ, %	42	44	44	43	43	43	43	42	42	42	428
Дубравы											
О В, г/см3	1,26	1,37	1,43	1,48	1,52	1,55	1,57	1,60	1,62	1,63	-
ОП, %	51,8	48,3	46,8	45,4	44,3	43,4	42,8	42,0	41,2	41,2	447
ППВ,%	46	43	42	40	38	37	37	36	36	35	390
КВ, %	42	40	38	37	37	35	34	34	33	33	363

Примечание: ОВ - объемный вес (плотность) в г/см^3; ОП - общая пористость в %; ППВ - предельная полевая влагоемкость в %; КВ - капиллярная влагоемкость в %.

Анализом объемного веса и водно-физических свойств почв установлено, что площади под буковыми лесами обладают более высокими водорегулирующими свойствами и способны регулировать ливни редкой повторяемости; почвы дубрав побережья в 3 раза слабее выполняют водорегулирующие функции.

Несмотря на лучшую водопроницаемость поверхностных горизонтов почв, дубравы Новороссийской провинции не могут регулировать дренажным стоком ливни более 30—40 мм и интенсивностью более 0,1 мм/мин, в то время как почвы под буковыми насаждениями способны вместить осадков такой же интенсивности в 3 раза больше.

4.6 Впитывание и инфильтрация на элементарных водосборах в буковой лесорастительной зоне

Сток и инфильтрация взаимосвязаны между собой, с одной стороны – как приходно-расходные части баланса, а с другой – инфильтрация определяет и регулирует сток, и наоборот, сток воздействует на инфильтрацию величиной залитой водой части бассейна. Отсюда следует, что из-за чрезвычайной сложности взаимосвязей при многообразии и изменчивости факторов определить математические формулы, описывающие процесс формирования стока на горных склонах в настоящее время не представляется возможным. Часто эмпирическое обобщение данных наблюдений за стоком также не способно дать удовлетворительные результаты. В основу обобщения результатов экспериментальных исследований и вычисления расчётных формул следует положить генетический анализ комплексного явления инфильтрации и стока, выделяя при этом наиболее важные действующие факторы.

Ливневой сток является предметом многочисленных исследований. Наибольшую известность в отечественной литературе получили методы расчёта, предложенные Е.В. Близняком (1926), Г.Д. Дубелиром (1940), М.М. Протодьяконовым (1940,1960), М.Ф. Срибным (1940), Д.Л. Соколовским (1945), Б.В. Поляковым (1946), Г.А. Алексеевым (1955) Е.В. Болдаковым и Н.Н. Чегодаевым (1959) и др.

Теории ливневого стока посвящены исследования Н.Е. Долгова (1916), М.А. Великанова (1931,1948), Д.Л. Соколовского (1945), А.Н. Бефани (1949,1958), Г.А. Алексеева (1966). Несмотря на наличие обширных исследований ливневого стока для равнины, сток в горных условиях изучен слабо. Так, для расчёта дождевого стока с малых водосборов Кавказа имеется одна лишь методика (Ростомов, 1956). Для Черноморского побережья Кавказа в силу специфичности условий района эта методика вряд ли подходит, а других формул для этого района нет.

Процесс движения воды в почве четко разграничивается на несколько фаз (Будаговский, 1955). Первая из них заключается в поступлении воды в почву во время дождя. Эту фазу принято называть впиты-

ванием, или инфильтрацией. Впитывание происходит в основном под действием капиллярных сил, сопротивление и силы тяжести, и заканчивается с прекращением орошения почвы.

При выпадении дождя и отсутствии сплошного слоя воды на поверхности почвы наблюдается свободная инфильтрация. Коэффициент впитывания в этом случае определяется интенсивностью орошения. Свободная инфильтрация продолжается до прекращения дождя или до момента, когда поверхность почвы будет полностью покрыта водой. В последнем случае наступает третья фаза инфильтрации – напорная инфильтрация, или фильтрация. Первая фаза (просачивание) характеризуется неустановившимся движением воды, при переменной водопоглощающей способности почво-грунта до момента достижения им состояния полной молекулярной влагоёмкости. Фаза фильтрации имеет установившееся движение воды, подчиняющееся закону Дарси, и постоянный коэффициент фильтрации.

Наилучшее моделирование процессов впитывания достигается при дождевании с постоянной интенсивностью. Такие опыты были проведены Ф.П. Сериком (1940), С.А. Колем (1950), С.Ф. Федоровым (1950), А.Н. Бефани и др. (1966, 1967, 1968).

А.Н. Костяков (1931) предложил для расчёта коэффициента впитывания $\mathbf{K_t}$ в момент времени **t** следующую формулу:

$$K_t = \frac{K_0}{t^{\alpha}} \qquad (22)$$

где: **α -** показатель степени, зависящий от характера почвы, а $\mathbf{K_o}$ – коэффициент впитывания воздушно-сухой почвой в конце первой единицы времени..

Формула (22) применялась И.Н. Антиповым-Каратаевым, Е. И. Цыпленкиным, Н.Ф. Созыкиным и др. Г.А. Алексеевым (1948) теоретически рассмотрена наиболее простая модель инфильтрации воды в почву под действием сил тяжести и менисковых сил при залитой сплошным слоем воды поверхности и однородном грунте и получена следующая формула впитывания:

$$U = \frac{K}{W - W_0} \bullet (1 + \frac{h}{y}) \qquad (23)$$

где: U – скорость просачивания; K – коэффициент фильтрации; W-Wo - свободная пористость; $h=h_к+h_н$ ($h_н$ **–** высота слоя воды на поверхности почвы, $h_к$ – предельная высота капиллярного поднятия), y – положение фронта впитывания.

Более близка к реальным условиям схема, принятая Н.Ф. Бефани (1954) в виде двучленной степенной функции:

$$K_t = K_0 + \frac{A}{t^n} \qquad (24)$$

Последние разработки в этом направлении, выполненные Н.Ф. Бефани (1967), позволили принять в качестве расчётной следующую формулу:

$$K_t = \left[K_0 + \frac{A}{(t+1)^n} \right] \bullet \mu \qquad (25)$$

Здесь: $\mathbf{K_t}$ – интенсивность впитывания в момент времени **t** при уклоне **I ‰**, $\mathbf{K_o}$ – установившаяся интенсивность впитывания при нулевом уклоне; **A** – параметр кривой впитывания при горизонтальной поверхности и заданной интенсивности дождя; **n** – показатель редукции; $\boldsymbol{\mu = e^{-0.002\ i}}$, где **i** – уклон склона в **‰**, **e** - основание натуральных логарифмов.

Определение впитывания на ЛГС «Аибга» производилось несколькими способами: лабораторным (условные коэффициенты фильтрации на дециметровых монолитах), полевым (эксперименты с помощью прибора Нестерова «ПВН» и простейших кольцевых инфильтрометров, а также дождевание площадок 10 м²) и расчётным (анализ графиков естественных дождей и стока на водосборах стационара).

Результаты определения впитывания на различных глубинах с помощью простейших кольцевых инфильтрометров свидетельствуют об исключительно высокой водопроницаемости поверхностного слоя до глубин 0,6-0,8 м. Коэффициенты впитывания, определенные на поверхности почвы, варьировали по площади от 10,1 до 18,1 мм/мин при среднем их значении 13,9. На глубине 0,2 м впитывание в среднем равно 6,0 мм/мин; на 0,4 – 2,1 мм/мин, а на 0,6 м - 0,7 мм/мин. Кривые изменения с глубиной условных коэффициентов фильтрации, полученных в лаборатории и по опытам с инфильтрометрами, приведены на рис. 40. Ха-

рактерно совпадение этих кривых на глубине 0,6 м. Однако, данные, полученные по инфильтрометрам, дают лишь качественную характеристику процесса впитывания. Это объясняется тем, что при заливке воды в инфильтрометр после опускания фильтрационной колонны до нижней кромки инфильтрационного кольца вода в рыхлой лесной почве начинает стремительно растекаться в стороны, и результаты опытов значительно завышаются. Реальное впитывание может быть получено в интервале времени опускания воды на глубину забивки кольца. Дождевание площадок 10 кв.м. с интенсивностью 1,5 мм/мин дало минимальное впитывание 1,0 мм/мин.

Экспедиционные исследования склонового стока в зоне буковых лесов, проведенные Сочинской НИЛОС совместно с Одесским Гидрометинститутом, показали значительное варьирование впитывания по площади даже в опытах с дождеванием площадок 100-200 кв.м. (Бефани и др., 1968). Минимальное впитывание по этим опытам достигает 0,11-0,14 мм/мин, что, по-видимому, наиболее близко к истинному значению.

Ввиду большого варьирования на водосборе участков с различным впитыванием – от провального до нулевого (так, коэффициент вариации только мощности рыхлого слоя почв на стационаре равен 0,35), получить истинное значение интенсивности инфильтрации для всего бассейна не представляется возможным.

В связи с отмеченным, наиболее приемлемой методикой определения осредненного по площади впитывания для водосборов стационара является установление кривых инфильтрации по гидрометрическим данным (Бефани, 1966). Сущность этого способа состоит в построении графиков ливней и выделении на них площадей, равных наблюденному стоку. Полученная ордината впитывания относится к середине интервала водообразования. По полученным ординатам можно построить инфильтрационную кривую, причём начало её выбирается так, чтобы площади поглощения воды до начала стока по графику кривой дождя и по кривой впитывания были равны. Для построения кривых применялся графический подбор сразу на нескольких гидрографах, для чего были использованы наблюдения за стоком на 1-ом водосборе ЛГС

«Аибга».

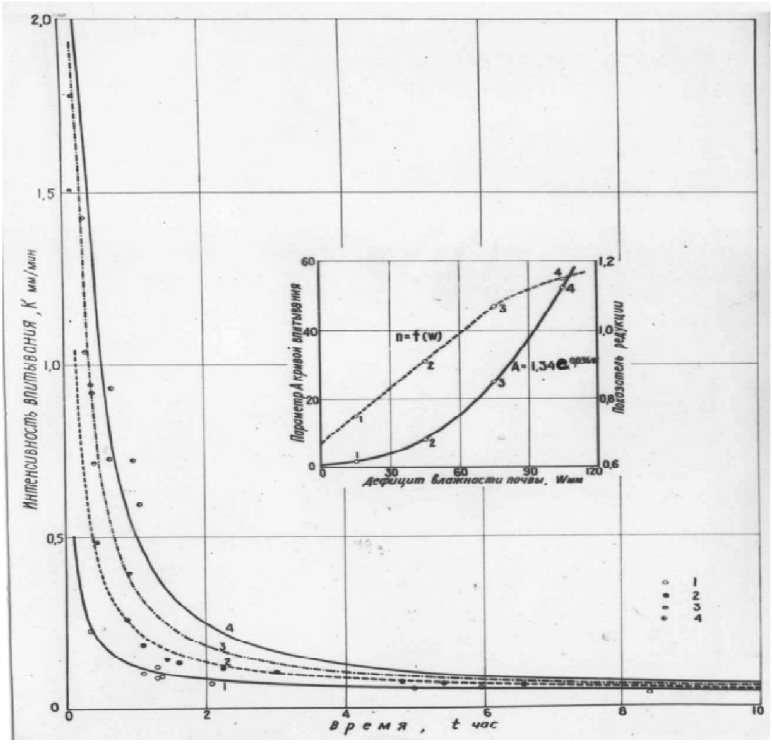


Рисунок 28 - Кривые впитывания на 1-ом и 2-ом водосборах ЛГС «Аибга» при различном предшествующем увлажнении: 1 – при ΔW=0+30 мм; 2 – ΔW=30+60 мм; 3 – ΔW=60+90 мм; 4 - ΔW=90+120 мм, где ΔW – дефицит влаги в почве, представляющий разность НВ-W.

На рис. 28 представлены кривые впитывания для водосбора №1 стационара при различном предшествующем увлажнении.

Для характеристики увлажнения взят дефицит влажности в метровом слое почвы, равный разности наименьшей влагоёмкости в этом слое (НВ=470 мм) и запасу влаги перед паводком.

Приведенные кривые впитывания имеют следующие аналитические выражения:

1. При **ΔW=0÷30 мм** $$K_t = 0{,}03 + \frac{2{,}0}{(t+1)^{0{,}75}} \quad (26)$$

2. При **ΔW=30÷60 мм** $$K_t = 0{,}03 + \frac{8{,}0}{(t+1)^{0{,}91}} \quad (27)$$

3. При **ΔW=60÷90 мм** $$K_t = 0{,}03 + \frac{25}{(t+1)^{1{,}07}} \quad (28)$$

4. При **ΔW=90÷120 мм** $$K_t = 0{,}03 + \frac{52{,}4}{(t+1)^{1{,}15}} \quad (29)$$

Как показано на рис. 28, параметр **A** кривых впитывания зависит от дефицита влажности, причём кривая **A = f (ΔW)** аппроксимируется уравнением: $$\mathbf{A=1{,}34e^{0{,}036\Delta W}} \quad (30)$$

Показатель редукции n также зависит от ΔW, эта зависимость в нижней и средней части близка к линейной. Благодаря тому, что бурые лесные почвы характеризуются большой водопроницаемостью и аккумулирующей ёмкостью, а также значительным крутизнам склонов, дожди здесь почти никогда не образуют сплошного слоя воды на поверхности почвы. Поэтому интенсивность впитывания на водосборах стационара, как это будет показано далее, определяется интенсивностью ливня.

Следует отметить водорегулирующий эффект буковых лесов на горных склонах, связанный с их продолжительным влиянием на водно-физические характеристики почв и заключающийся в активном переводе выпадающих осадков в грунтовый сток. Даже при самых значительных ливнях здесь отсутствует напорная фильтрация, а средние за паводок величины коэффициентов впитывания имеют тесную коррелятивную связь с интенсивностью ливней.

Наблюдения за поверхностным стоком, проведенные на 3-х стоковых площадках с уклоном 22-350, показали, что сток на поверхности почвы под пологом леса очень мал: за вегетационный период 1969 г. его сумма составила 0,6 мм, а коэффициент стока - 0,001. Незначительные величины поверхностного стока обусловливают почти полное отсутствие эрозии под пологом девственных буковых насаждений.

4.7 Впитывание и инфильтрация на элементарных водосборах в дубравной лесорастительной зоне

Расчет величин инфильтрации почвогрунтов за период наблюдений 1994–99 гг. для каждого водосбора ЛГС "Горский" проводили методом водного баланса. Расчёты показали, что инфильтрация на водосборе №1 ЛГС "Горский" за 5–летний период наблюдений варьировала в пределах 91 – 386 мм (в среднем – 240 мм), что составило 7.8 – 42.3 % от сезонных сумм осадков (24.6 % среднегодовых сезонных сумм осадков).

На водосборе №2 инфильтрация составляет 66 – 442 мм (7.1–50.6 % от сезонных осадков), в среднем – 236 мм (23.6% среднегодовых сезонных сумм осадков).

На водосборе №3 инфильтрация варьирует от 65 до 491 мм (7.0 – 56.3% величины сезонных осадков на данном водосборе), в среднем – 284 мм (28.5 %).

На водосборе №4 величина инфильтрации в почвогрунты за холодные периоды составляет 20 – 472 мм (2.2–55.2 %), в среднем – 194 мм (19.8 % от среднегодовой величины осадков за холодный сезон).

Таблица 8 - Инфильтрация в почвоподстилающие грунты за холодные периоды на ЛГС "Горский" за 1994–99 гидрологические годы.

Гидрологические годы	Инфильтрация, мм			
	водосбор №1	водосбор №2	водосбор №3	водосбор №4
1994-95	295	326	351	241
1995-96	113	66	65	20
1996-97	316	151	268	114
1997-98	91	195	246	122
1998-99	386	442	491	472
Среднее	240	236	284	194

Инфильтрационная съемка склонов. Более облегченной методикой изучения одного из параметров образования склонового сто-

ка – инфильтрации в почвоподстилающие грунты – является инфильтрационная съемка склонов.

Для изучения инфильтрации широко применяются инфильтрометры различных конструкций. Теоретические вопросы использования инфильтрометров в горных районах подробно освещены в работах А.Н. Бефани и др.[4].

4.8 Результаты изучения склонового стока на элементарных водосборах

4.8.1 Наблюдения за склоновым стоком в буковой зоне (ЛГС «Аибга»)

Исследования склонового стока в буковых насаждениях проведены на лесогидрологическом стационаре «Аибга» (ЛГС «Аибга»), который был организован ФГУ «НИИгорлесэкол» в 1963–1965 гг. в юго-восточной части Черноморского побережья Кавказа (в бассейне р. Мзымта – Южный отдел Сочинского национального парка). ЛГС «Аибга» располагается на водоразделе рек Псоу и Мзымта на высотах от 485 до 1150 м над ур. моря, на общем склоне юго-западной экспозиции со средней крутизной 25°. По условиям местопроизрастания его территория является репрезентативной для зоны буковых лесов и включает четыре водосбора размером от 5,7 до 19,9 га (рис.29). Подробная характеристика лесорастительных условий и насаждений стационара дана нами ранее (Битюков, ж. Лесоведение, 3, 2015). Далее приведены результаты лесогидрологических исследований в незатронутых рубками буковых насаждениях (в период 1963-1970 гг.), а также после проведе-

[4]**Бефани А.Н.** - Основные положения теории речного стока. Труды ОГМИ, вып.ХП.1958. - 300 с.

Бефани А.Н., Бефани Н.Ф., Вишневский П.Ф., Иваненко А.Г., Позднякова В.Б., Тюхтя К.К. Экспериментальные исследования дождевого стока в Карпатах (бассейн р.Рики).Тр.УкрНИГМИ, в.69, Гидрометеоиздат, Л,1967.- 278 с.

Бефани А.Н., Иваненко А.Г. - Водный баланс горных склонов. Труды УкрНИГМИ, вып.69, Гидрометеоиздат, Л, 1967. С. 150-180 с.

Бефани А.Н., Урываев П.А., Бефани Н.Ф., Одрова Т.В., Федорей В.Г. Экспериментальные исследования дождевого стока в Приморье. Труды ДВНИГМИ,вып.*22.* Гидрометеоиздат, Л,1966. 315 с.

ния опытно-производственные рубок леса в 1972-73 гг. на трех из 4-х водосборов рубок. Результаты воздействия рубок на склоновый сток были исследованы в течение последующих 40 лет. На водосборе №1 была выполнена сплошнолесосечная рубка с тракторной технологией лесозаготовок и трелёвкой по горизонтальным пасечным волокам. На водосборе №2 проведена котловинная 3-х-приемная рубка с 5-летним периодом между каждым приёмом. На водосборе №3 выполнена добровольно-выборочная рубка с выборкой 16 и 32% по запасу. Водосбор №4 оставлен в качестве контрольного, без хозяйственного воздействия.

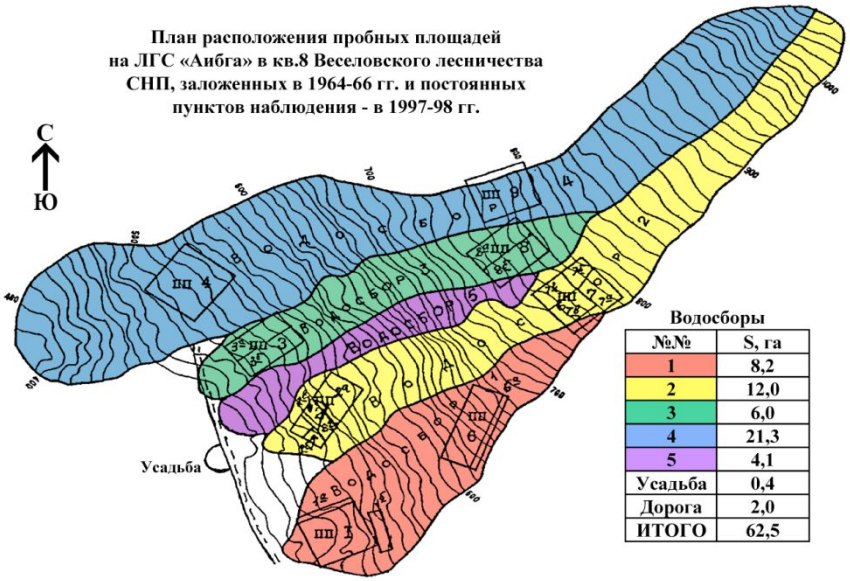


Рисунок 29 – Расположение водосборов и пробных площадей ЛГС «Аибга»

Для изучения стока использованы общепринятые методы полевых микроклиматических, водно-балансовых и лесоводственно-таксационных исследований. Создана электронная база данных наблюдений за элементами водного баланса за период 1964-2010 гг. Доказана возможность использования склонового стока в качестве интегрального показателя климатических и антропогенных изменений на

малых водосборах. (Битюков, 2007).

По результатам исследований на **ЛГС «Аибга», на 1-ом ручье (F=7.6 га)** сток наблюдался в гидрологическом году в течение 99-150 дней (в зависимости от водности года). Большая часть годового стока проходит в холодное время года – на вегетацию приходится всего лишь 28-33% годового объёма. Коэффициенты годового стока колеблются в пределах 2,3 – 4,0%, за холодный период – от 3,0 до 5,4%, за вегетацию – от 1,6 до 2,8%.

Максимальные паводки не приурочены к определенному сезону, однако чаще бывают в период вегетации после выпадения интенсивных летних ливней. Зимние паводки имеют продолжительность от 60-110 час. и максимальные модули стока 16-219 л/сек с км², а летние – значительно короче (16-50 час) и выше (до 1934 л/сек с км²). Время добегания на водосборе составляет 70-250 мин, а скорость добегания паводочной волны склонового стока – от 2,6 до 15 м/мин. Коэффициенты стока за паводок на 1-ом ручье колеблются значительно. Так, по данным 52 паводков, наблюденных в 1966-1969 гг., средний паводочный коэффициент стока равен 4,4%, при **Cu** =1,0, **Cs** =3,0 и **E=**10,2, а средний максимум стока – 0,010 мм/мин при **Cu** =2,16, **Cs** =3,8 и **E=**15,5.

Средняя величина стокообразующего дождя оказалась равной 50 мм (**Cu** =0,62, **Cs** =1,1), при его продолжительности 11,4 часа (**Cu** =0,74, **Cs** =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 слоя паводка 2,4 мм. Максимальный за период наблюдений до рубки 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). Паводко-образующим был ливень 122,7 мм, выпавший в течение 16 часов 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). (табл.9)

2-ой ручей ЛГС «Аибга» (F=12.2 га). Водосбор имеет постоянное грунтовое питание, составляющее 30,0 – 51,7% общего стока за вегетацию и 24,5 – 52,7% за год. Общий сток здесь почти в 3 раза превышает сток 1-го ручья. В наиболее засушливые годы грунтовое питание 2-го ручья иссякает. Коэффициенты общего годового стока изменяются от 6,4% в засушливый год до 10,2% - при годовых осадках, равных норме. Коэффициенты склонового стока в холодный период в среднем равны 3,9 – 8,3%, за вегетацию – 1,5 – 2,8%, а за год – 2,7 – 5,7%. Склоновый сток на 2-ом ручье был определен срезкой пиков паводков на гидрографе, и, по-видимому, представляет собой наибольшую его величину (в % от осадков), возможную в данных условиях. 1-ый ручей, возможно, перехватывает не весь склоновой сток (из-за меньшей площади водосбора), однако различия в коэффициентах стока отмечаются лишь для зимнего периода. Для теплого сезона коэффициент склонового стока можно принять в среднем 2,4%. (табл.9)

Паводки на 2-ом ручье более продолжительны во времени (60 – 144 часа зимой и 14 – 96 часов летом) и более распластаны – максимальные модули стока в 3 раза меньше, чем на 1-ом ручье. Средний коэффициент стока за паводок (по данным 40 паводков) составляет 3,8% при **Cu** =1,3, **Cs** =4,7 и **E=**24,6. Наибольшая интенсивность стока в среднем равна 0,006 мм/мин при варьировании этого показателя **Cu** =2,3, асимметрии **Cs** =5,5 и эксцессе **E=**30,0. Максимальный коэффициент стока (32,2%), как и на 1-ом ручье, наблюдался 14-18.VI.1966г.; максимум интенсивности стока – 0,080 мм/мин. Измеренная в этот паводок мутность воды в ручье составила всего 27,3 г/м³.

Таблица 9 - Характеристики склонового стока на ЛГС «Аибга»

Гидрологические годы	Сток за вегетацию, мм			Сток за гидрологический год, мм			Коэф. год. стока %	Коэффициент склонового стока, %			Максим. модуль стока, л/сек с км²	Наиб. коэф. стока %
	Общий	Грунтовый	Склоновый	общий	Грунтовый	Склоновый		За холодный период	За вегетац.	За гидр. год		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1-ый ручей F= 7.6 га												
1967	16,8	0,0	16,8	51,0	0,0	51,0	2,3	3,0	1,6	2,3	1062	24
1968	32,4	0,0	32,4	-	-	-	-	-	2,8	-	308	6
1969	14,3	0,0	14,3	50,3	0,0	50,3	2,9	4,2	1,7	2,9	528	9
1970	28,4	0,0	28,4	98,9	0,0	98,9	4,0	5,4	2,4	4,0	259	7
2-ой ручей F=12.2 га												
1967	45,1	13,4	31,7	168	41,2	127	7,2	7,7	2,8	5,4	341	20
1968	59,9	27,5	32,4	-	-	-	-	-	2,6	-	138	7
1969	29,6	15,3	14,3	118	68,1	50,3	6,4	3,9	1,5	2,7	148	9
1970	55,9	19,8	36,1	274	120	154	10	8,3	2,8	5,7	304	32
3-ий ручей F=5,7 га												
1967	24,2	0,0	24,2	61,3	0,0	61,3	2,8	3,2	2,3	2,8	920	21
1968	10,8	0,0	10,8	-	-	-	-	-	0,9	-	202	3
1969	2,5	0,0	2,5	11,0	0,0	11,0	0,6	1,0	0,3	0,6	254	4
1970	15,2	0,0	15,2	58,0	0,0	58,0	2,3	3,2	1,2	2,3	772	15
4-ый ручей F= 19,9 га												
1967	422	390,5	31,7	1103	976	127	48,8	8,0	2,9	5,6	543	22
1968	526	494,5	32,4	-	-	-	-	-	2,7	-	81	9
1969	324	310,0	14,3	1042	991	50,3	58,5	4,1	1,6	2,8	144	15
1970	558	522,4	36,1	1546	1392	154	59,7	8,7	2,9	5,9	437	17

3-ий ручей ЛГС «Аибга» (F=5.7 га). Площадь водосбора водотока наименьшая на стационаре, и сток здесь наблюдается всего в течение 50-60 дней в году. Общий объём стока составляет 0,6 – 2,8% от годовых осадков. Коэффициенты стока холодного периода колеблются от 1,0 до 3,2%, периода вегетации - от 0,3 до 2,3%. Гидрографы паводков характеризуются кратковременностью, особенно летом – от 3 до 22 час., и высоким острым пиком (модуль стока достигает 920 л/с с км²). Максимумы интенсивности стока в среднем равны 0,004 мм/мин при **Cu** =2,3, **Cs** =4,1 и **E=**17,9. Средний коэффициент стока для паводков **α** =1,3%, его вариация **Cu** =1,7, асимметрия **Cs** =4,2, эксцесс **E=**19,2.

4-ый ручей ЛГС «Аибга» (F=19,9 га). Площадь его водосбора занимает 44% от общей площади стационара. Ручей сбрасывает от 48,8 до 59,7% годовых осадков, выпадающих на его водосбор. Паводки на ручье имеют плавные очертания, в зимнее время пики дождевых паводков накладываются на значительный базисный сток. Величина грунтового стока достигает 88,5 – 95% от общего годового стока, причём этого объёма 93 – 108 мм в год (8,9 – 9,8%) составляет глубоководное грунтовое питание, которое выходит за пределы сезонного регулирования, и определяется колебанием годовых сумм осадков таб.9).

На рис. 30 представлена обобщенная кривая истощения запасов воды в бассейне 4-го ручья ЛГС «Аибга». Кривая построена по измерениям расходов воды в замыкающем створе за периоды отсутствия осадков на водосборе и характеризует уменьшение подземного питания ручья во времени. На логарифмической клетчатке спадовая кривая дана в тысячных долях мм/мин. Общий объём стока, ограниченной кривой, равен 35000 м³, или 175 мм слоя. Убывание интенсивности стока описывается обратной экспоненциальной функцией:

$$Y_t = 9,0 \bullet e^{-0,355\sqrt{t}} \qquad (31)$$

где: e - основание натуральных логарифмов, t – время в сутках.

Фактическими наблюдениями уравнение (33) освещено в интервале t=1÷85 дней, и к концу указанного периода расход воды в замыкающем створе водосбора составлял 0,9 л/сек, или 0,27 $\cdot 10^{-3}$ мм/мин. Экстраполяция убывания стока по уравнению (33) даёт уменьшение стока до сотых долей л/сек лишь на 350-е сутки. Таким образом, бассейновое регулирование 4-го ручья способно обеспечить его подземным питанием без дополнительных осадков примерно около года.

По результатам наблюдений за стоком на водосборах стационара «Аибга» можно установить эмпирическую зависимость величины годового стока от площади бассейна (в пределах размеров бассейнов **притоков первого порядка**).

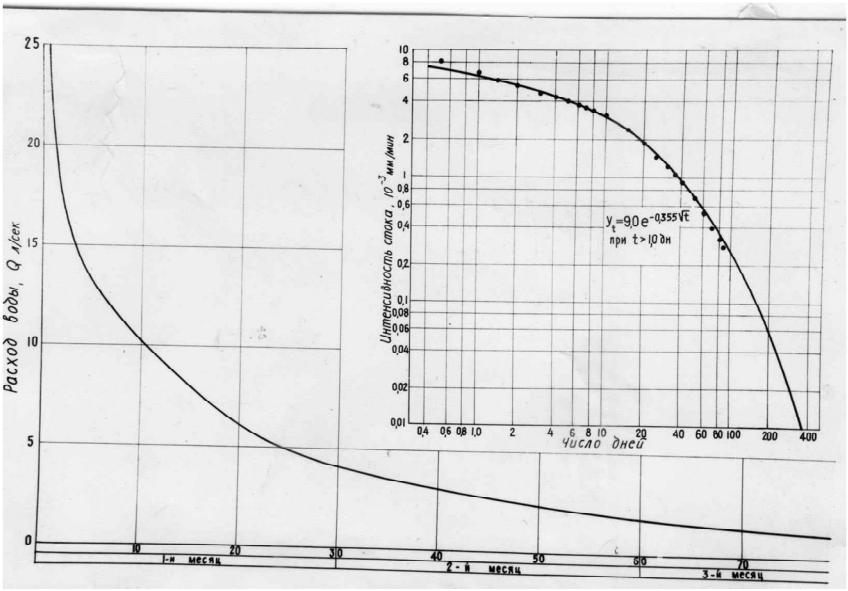


Рисунок 30- Кривая истощения запасов воды в бассейне 4-го ручья ЛГС «Аибга».

Минимальное впитывание при полностью насыщенной влагой почве в среднем равно 0,030 мм/мин, что подтверждает значение $\mathbf{K_o}$ для инфильтрационных кривых, приведенных выше. Таким образом, учтя полученные эмпирические зависимости, расчётную формулу для определения слоя склонового стока можно представить в следующем виде:

$$\mathbf{У = X - 0,784T \cdot i_{ср} - 0,032\ \Delta W - 6,86} \qquad (32)$$

Здесь: **У** – слой стока за паводок, мм; **X** – слой паводкообразующего ливня, мм; **T** – продолжительность ливня в мин; $\mathbf{i_{ср}}$ – его средняя интенсивность в мм/мин; **ΔW** – дефицит влаги в метровом слое почвы, мм.

Зависимость (32) оценивается коэффициентом множественной корреляции **R=0,74±0,07**, а средняя ошибка уравнения составляет **±2,9** мм.

Как показал анализ, форма гидрографа паводков, образованных летними ливнями, довольно устойчива, поэтому максимум интенсивности стока можно определить по величине слоя стока. Аналитические

выражения для приведенных зависимостей следующие:

1) для 1-го и 3-го ручьёв: $\mathbf{У_{max} = 2{,}5\ У^{1{,}2}}$ $\mathbf{\eta = 0{,}934 \pm 0{,}014}$ (33)

2) для 2-го ручья: $\mathbf{У_{max} = 1{,}85\ У}$ $\mathbf{r = 0{,}984 \pm 0{,}005}$ (34)

Таким образом, используя эмпирические зависимости (33)-(34), можно определить склоновый сток на малых горных водосборах в зоне буковых лесов в условиях, сходных со стационаром «Аибга». Максимум стока редуцируется площадью: для меньших водосборов он выше (при одинаковых слоях паводков). Поэтому выражение (33) может быть использовано для водосборов от 5 до 8 га, а выражение (34) – от 8 до 12 га.

Сложные условия формирования склонового стока в природном бассейне очень часто делают невозможным чисто физический или аналитический подход к определению стока. Поэтому возникает необходимость обращаться к эмпирическим зависимостям, полученным статистической обработкой наблюденных факторов, влияющих на сток. Такие зависимости, полученные непосредственно для слоя стока, могут быть использованы только для тех бассейнов, по материалам которых выведены формулы, или же, с некоторыми допущениями – для водосборов со сходными физико-географическими условиями.

Более общим являются зависимости для коэффициентов стока, т.е. величин стока в долях от осадков, поскольку они являются характеристикой интразональных факторов и легко обобщаются в региональном масштабе.

Методом наименьших квадратов были получены уравнения множественной корреляции, связывающие коэффициенты склонового стока с характеристиками стокообразующих ливней и фактором предшествующего увлажнения:

1-ый ручей:

$\mathbf{\alpha = 6{,}1 + 0{,}01 * X + 10{,}4\ i_{м.ч.} - 0{,}1 * T_д - 0{,}064 \Delta W}$ $\mathbf{R = 0{,}57}$, $\mathbf{S = 2{,}9\%.}$ (35)

Здесь: **α -** коэффициент стока за паводок, %; **X** – слой стокообразующего дождя в мм; $\mathbf{T_д}$ – его продолжительность в часах; $\mathbf{i_{ср}}$ – средняя интенсивность ливня в мм/мин; $\mathbf{i_{м.ч.}}$ – максимальная часовая интенсивность ливня в мм/мин; **ΔW** - дефицит влаги в метровом слое почвы перед па-

водком.

Из перечисленных факторов наибольшее влияние на коэффициент паводкового стока оказывает максимальная часовая интенсивность ливня – частный коэффициент корреляции достигает 0,37. В целом уравнение (37) позволяет рассчитать коэффициент стока с абсолютной ошибкой, не превышающей **Δα=2,7÷2,9**%, что можно считать удовлетворительной точностью при тех малых величинах коэффициента стока, которые наблюдаются в девственных буковых древостоев.

Множественной корреляцией были определены также уравнения для максимальной интенсивности стока (пика паводка) в зависимости от тех же факторов:

1-ый ручей:

а) $\mathbf{У_{max} = 8,8 + 48,8*i_{ср} + 48,3*i_{м.ч.} – 0,18*T_д – 0,25*\Delta W}$.(36)

R=0,73 , S=9,5· 10^{-3} мм/мин

б) $\mathbf{У_{max} = 6,5 + 0,28*X + 47,3*i_{м.ч.} – 0,63*T_д – 0,24*\Delta W}$ (37)

R=0,76, S=8,6 ·10^{-3} мм/мин.

2-ой ручей:

а) $\mathbf{Ymax = 0,17*X - 0,088*T_д - 0,006*\Delta W + 8,27*i_{м.ч.} – 4,66}$ (38)

R=0,58 , S=8,1 · 10^{-3} мм/мин.

б) $\mathbf{Ymax = 12,2 + 34,2*i_{м.ч.} - 0,18*T_д – 0,19*\Delta W – 5,9*i_{ср}}$ (39)

R=0,61 , S=7,7 · 10^{-3} мм/мин.

Здесь: $\mathbf{У_{max}}$ – максимум паводка в тысячных долях мм/мин.

Наилучшую корреляцию $\mathbf{У_{max}}$ имеет с коэффициентом стока **α** (0,77), затем – с максимальной часовой интенсивностью (0,60) и средней интенсивностью ливня (0,60).

Таким образом, исследования генезиса стока на склонах под буковыми насаждениями позволяют отметить следующие его особенности. Хорошие водно-физические свойства бурых лесных почв обусловливают интенсивное начальное впитывание и значительную аккумуляцию ливневых вод. В связи с этим под пологом леса редко возникает поверхностный сток, а проходящие паводки образуются в основном кон-

тактной составляющей склонового стока. Средние за паводок коэффициенты впитывания тесно увязываются с интенсивностью ливней, что является следствием отсутствия напорной фильтрации во время естественных дождей. Динамика впитывания определяется величиной предшествующего увлажнения почвы. При максимальном увлажнении коэффициент инфильтрации в почво-подстилающие грунты на стационаре близок к 0,03 мм/мин. Общий объём стока на водотоках стационара увеличивается с ростом площади водосбора по **S** – образной кривой. Аналогичной зависимостью описывается также увеличение коэффициентов годового стока в пределах величины водосбора до 20 га, причём при 20 га коэффициент стока достигает 60%. Склоновой сток на стационаре равен 4-6% от годовых осадков, в зимний период он выше - 3,0+3,8%, а летом – в 2+3 раза меньше зимнего (1,5+2,8%).

Следовательно, подавляющая часть выпадающих осадков уходит на инфильтрацию и значительно зарегулирована бассейном. Так, на 4-ом ручье объём спадовой кривой составляет 175 мм, а истощение влагозапасов в бассейне происходит в течение года.

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 наблюденная интенсивность стока - 0,08 мм/мин.

Для расчёта коэффициентов паводкового склонового стока на малых бассейнах в зоне буковых лесов предлагаются эмпирические зависимости, учитывающие предварительное увлажнение бассейна и график паводко-образующего дождя. Следует учесть, что в условиях легко проницаемых с поверхности лесных почв превалирующее влияние

на склоновый сток имеет форма графика дождя, которая в естественных условиях может быть самой различной, и учесть её в прогностических расчётных зависимостях очень трудно.

В связи с отмеченным, а также учитывая малые значения склонового стока (в то время как осадки и потери стока в десятки раз больше него), приходится считать посредственную точность эмпирических формул вполне удовлетворительной на данном этапе исследований.

4.8.2 Наблюдения за склоновым стоком в дубравной зоне (ЛГС «Горский»)

Горные леса Северо-Западного Кавказа занимают площадь около 650 тыс. га и являются основным компонентом природных экосистем на данной территории. Они обеспечивают поддержание стабильности ландшафтов, экологического равновесия и гидрологического режима региона. При этом 53% покрытой лесом площади занимают дубравы, среди которых преобладает формация дуба скального *Quercus petraea* L. ex. Lieb. (Полежай, 2011). Наибольшее воздействие на состояние горных лесов и их экологический потенциал оказывают рубки главного пользования, приводящие к существенному нарушению гидрологического режима, интенсивному развитию эрозионных процессов, изменению качественной структуры нового поколения леса. Поэтому важное значение в разработке стратегии устойчивого лесопользования в регионе имеют вопросы водного режима горных лесных экосистем в связи с рубками леса, которым посвящен целый ряд работ авторов (Битюков, 1981, 1987, 1988, 1996а, 1996б, 2007, 2011; Битюков и др., 2011, 2012; Битюков, Шагаров, 2013а, 2013б; Коваль и др., 2012, Коваль, Битюков, 1972, 2001; Шагаров, 2012, 2013).

По климатическим условиям дубравная лесорастительная зона относится к Северо-Черноморскому подсубтропическому району. Он занимает как низменную, так и возвышенную части Черноморского побережья Кавказа между г. Туапсе и г. Анапа. Годовая норма осадков составляет 1541.7 мм. Доля дней с дождями за год достигает 15–24% (56–88 дней). Среднегодовая температура равна 11.4°С, средняя тем-

пература за вегетационный период 16.7°С. Самым жарким месяцем является июль (среднемесячная температура 22.8°С), самым холодным – январь –1.4°С. Абсолютный максимум температуры воздуха 28°С, минимум –16°С. Относительная влажность воздуха колеблется в пределах 70-80%.

В 1972 г. на территории бывшего Джубгского мехлесхоза в бассейне р. Джубга, (бассейн ручья Черноволова Щель) в 10 км от берега моря для изучения геоэкологических функций насаждений дуба скального был заложен лесогидрологический стационар (ЛГС) «Горский». На нем изучено влияние сплошнолесосечной и двух-приемной котловинной рубок на двух водосборных площадях, а два других водосбора оставлены в качестве контрольных. ЛГС «Горский» является репрезентативным по лесорастительным, геологическим, почвенным и климатическим условиям для формации дуба скального. Район стационара приурочен к северо-западной части Главного Кавказского хребта и характеризуется наличием низкогорного, сильно эродированного рельефа при северо-западной экспозиции, состоит из 4 водосборных бассейнов размерами от 6.0 до 24.9 га в интервале высот 40-287 м над ур. моря. План расположения водосборов и постоянных пробных площадей ЛГС «Горский» показан на рисунке 31, а характеристики водосборов даны в табл.10..

Таблица 10. Морфометрические и таксационные характеристики водосборов лесогидрологического стационара «Горский» (до рубки)

Морфометрические и лесотаксационные характеристики	Водосборы ЛГС «Горский»			
	1-ый	2-ой	3-ий	4-ый
Площадь, га	6,0	22,3	24,9	9,3
Перепад высот, м	119	234	223	172
Средний уклон, град.	17,5	13,2	13,3	19,0
Длина водосбора, м	380	1000	940	500
Средняя ширина водосбора, м	190	228	245	186
Экспозиция склонов	СЗ, З	СЗ	С, СЗ	СЗ, ЮЗ
Преобладающая группа типов леса	СХДС	СХДС	СХДС	СХДС
Состав насаждений (до рубки)	8Дс1Бк1Гр	7Дс2Бк1Гр	5Дс3Бк2Гр	6Дс3Гр1Бк

Сред. высота деревьев, м	18,5	19,9	20,8	21,7
Средний диаметр, см	29,6	28,6	26,7	32,2
Лесистость, %	100	100	100	100
Класс возраста	V–VI	V–VI	V–VI	V–VI
Класс бонитета	VI, 0	III, 9	III, 2	III, 4
Полнота	0,7	0,7	0,7	0,7
Запас древесины, м3/га	192	169	178	203
Годы рубки	1981–82	1982–83 1988–89	–	–
Способ рубки	сплошно-лесосечная	котловинная 2-приемная	контроль	контроль
Площадь рубки, га	4,04	3,92 2,30	–	–
Площадь рубки, % площади водосбора	67,3	17,6 10,3	–	–

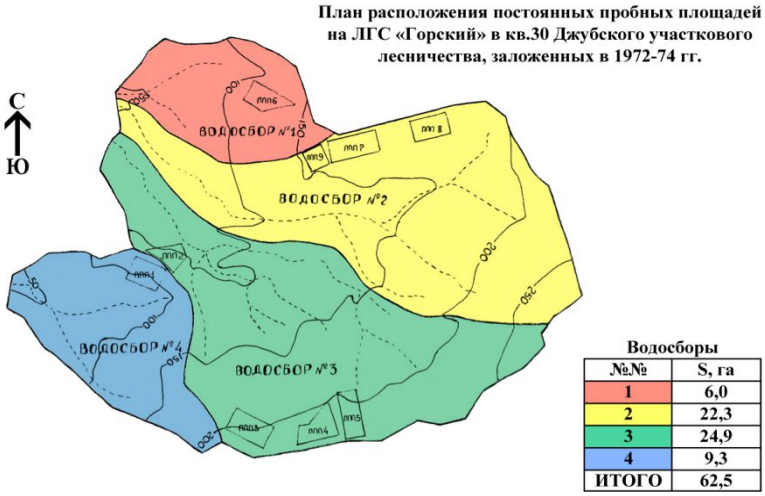


Рисунок 31 – Расположение водосборов и пробных площадей ЛГС «Горский»

В геологическом строении ЛГС «Горский» принимает участие

комплекс осадочных образований третичного периода, собранных в складки, представленный в основном аргиллитами с редкими и тонкослойными пропластами алевролитов. Коренные отложения перекрыты повсеместно аллювиально-делювиальным чехлом четвертичных и современных отложений. Последние представлены суглинистыми образованиями желто-бурого цвета с различными пятнами и включениями дресвы, щебня и валунов. Поймы и русла рек сложены валунно-галечными образованиями с щебнем и крупными обломками скальных пород.

Гидрогеологические условия стационара определяются отсутствием пластовых горизонтов, наличием вод, приуроченных к толще трещиноватых коренных пород, и грунтовых вод покровных четвертичных суглинков. По данным анализа гранулометрического состава объем песчаных частиц почв варьирует от 7 до 40%, пылеватых – от 7 до 27%, глинистых – от 40 до 60%. Удельный вес почвы (плотность) – 2.7 г/см^3.

Почвы бурые горнолесные, в основном маломощные. Мощность почв в зависимости от крутизны склонов варьирует от 10–20 до 100 см и более. В среднем на территории стационара почвенный профиль характеризуется изменением окраски от темной коричневато-серой в верхних горизонтах до коричневато-желтоватой и желтовато-бурой с сизыми пятнами в нижних. Гумусовый горизонт чаще всего не превышает по мощности 20-25 см. Горизонт В, помимо окраски, отличается большей плотностью. В верхних горизонтах почвы достаточно структурны. Основная масса корней древостоя сосредоточена в горизонтах почвы 50-70-сантиметровой мощности.

Исследования водно-физических характеристик, проведенные на ЛГС «Горский», показали, что эти почвы характеризуются высокими коэффициентами впитывания в верхних горизонтах (до 1.5 мм мин.$^{-1}$) и относительным водоупором на глубине 60–70 см. Объемный вес почвы по профилю изменяется от 1.08 г см$^{-3}$ в горизонте 1–11 см, до 1.66 г см$^{-3}$ на глубине 70–80 см (Битюков и др., 2012).

Лесохозяйственные воздействия. Все водосборные площади стационара до рубки были полностью облесены. Насаждения представ-

лены чистыми дубовыми и дубово-грабовыми древостоями с примесью бука, клена и береки. Сомкнутость полога 0.5-0.7; класс бонитета III-V. Типологическое разнообразие характеризуется преимущественно дубравами грабовыми, азалиевыми, злаковыми и грабинниковыми. Во втором ярусе преобладает грабинник, в подлеске – азалия, крушина и бересклет. Живой напочвенный покров представлен мхами, злаками и бобовыми.

Территория стационара частично (10-15% площади) была пройдена добровольно–выборочной рубкой в 1963 г. в наиболее удобных для заготовки и вывоза древесины местах (с выборкой 10-12% запаса), что способствовало снижению общей полноты до 0.7 и увеличению в составе насаждений деревьев порослевого происхождения. На момент организации стационара площади устойчивых производных насаждений граба и осины составляли на водосборе 1 – 0.93 га, на водосборе 2 – 2.02 га, на водосборе 3 – 4.4 га, на водосборе 4 – 2.22 га.

На водосборе №1 в 1981-1982 гг. проведена сплошнолесосечная рубка на площади 4.04 га (67.3% площади водосбора). Оставшаяся часть бассейна (1.96 га) вследствие значительной крутизны склонов (более 30°) и расположения по тальвегам ручьев осталась не вырубленной. На части водосбора после проведения рубки бульдозером «Т–130» было нарезано 900 погонных метров террас, на которых высажено 3.5 тыс. двухлетних саженцев сосны крымской.

На водосборе №2 в 1982-1983 гг. проведен первый прием групово-постепенной котловинной двух-приемной рубки на площади 3.92 га, а в 1988–1989 гг. – второй прием на площади 2.3 га, что в сумме составляет 27.9% площади водосбора. При первом приеме рубки было освоено 7 котловин. На трех котловинах, где наблюдалась недостаточная численность подроста, было высажено без подготовки почвы 1.5 тыс. шт. га$^{-1}$ саженцев каштана.

Для изучения динамики роста и развития древостоев на водосборах стационара в 1972 г. были заложены постоянные пробные площади (пр.пл.). На водосборе №1 пр.пл. 6 (дубняк грабинниковый); на водосборе №2 – пр.пл.7 (дубняк злаковый) и пр.пл.8 (дубняк азалие-

вый); на водосборе № 3 – пр.пл.2 (дубняк азалиевый), пр.пл. 3 (дубняк грабовый), пр.пл.4 (дубняк грабовый), пр.пл.5 (дубняк грабовый); на водосборе №4 – пр.пл.1 (дубняк грабинниковый). На пр.пл.6 была испытана сплошнолесосечная рубка 1981–1982 гг., на пр.пл.7 и пр.пл.8 первый прием котловинной рубки 1982–83 гг., на пр.пл.9 второй прием котловинной рубки 1988–1989 гг.

Методика гидрометрических наблюдений. Организация наблюдений за стоком на экспериментальных водосборах состояла в выборе места для установки гидрометрического створа, выборе и расчете подходящего типа регистрирующего поста, строительстве и установке сооружений и приборов для учета стока (рис32).

Рисунок 32– Гидрометрические створы на втором и третьем водосборах ЛГС «Горский»

Теоретические и экспериментальные исследования позволили выявить связь микроклиматических и лесоводственных показателей за многолетний период наблюдений для площадей с опытными рубками и контрольных бассейнов. Кроме того, можно считать доказанной возможность использования склонового стока в качестве универсального показателя изменений как климатических характеристик в различных древостоях, так и особенностей подстилающей поверхности (в основном напочвенного и почвенного покровов). Установлено, что с одной стороны

склоновый сток формируется в весьма динамичных условиях как во временных рамках, так и по генезису, а с другой стороны определяет водный баланс и режим его составляющих на площадях различного уровня, от микроплощадок до бассейнов основных рек региона (Шагаров, 2012).

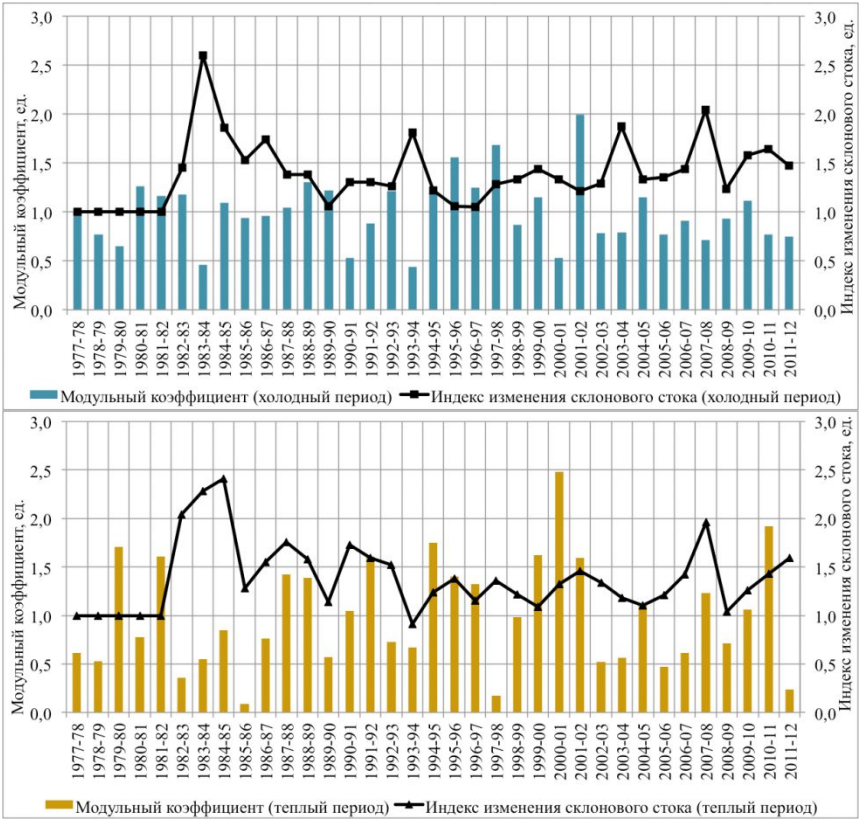


Рисунок 33 - Изменение склонового стока за холодный (А) и теплый (Б) сезоны на водосборе 1 со сплошнолесосечной рубкой 1981-1982 гг.

Ручьевой сток на всех водосборах ЛГС «Горский» можно полностью отнести к склоновому, поскольку продолжительность паводков невелика, и в засушливые периоды все ручьи пересыхают. При различии в площадях наименьшего и наибольшего водосборов в 4 раза среднего-

довая величина стока до рубки для водосбора №1 составила 795 мм, водосбора 2 – 708 мм, для водосбора 3 – 745 мм и для водосбора 4 – 753 мм, что составляет 46-52% от выпавших осадков. Основную часть годового стока составляет сток за холодный сезон, хотя летние паводки проходят интенсивнее и превышают по объему осенне-зимние.

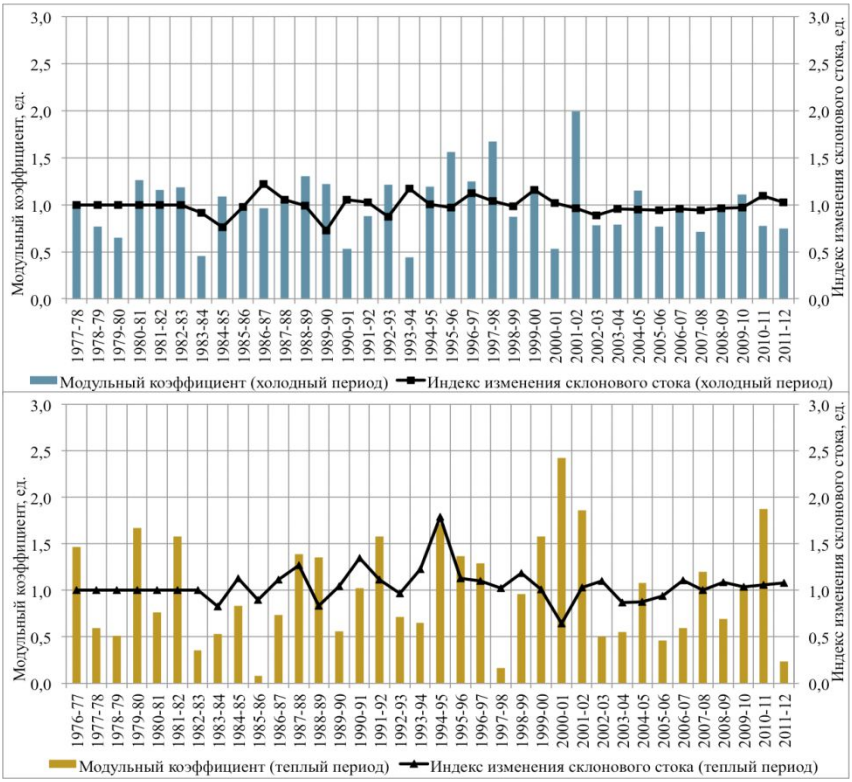


Рисунок 34 – Изменение склонового стока за холодный (А) и теплый (Б) сезоны на водосборе 2 с двух-приёмной котловинной рубкой 1982-1983 и 1988-1989 гг. ЛГС «Горский»

Условные обозначения на рис. 33 и 34:

1 – модульный коэффициент за холодный период года;

2 – эта же величина за теплый период года, рассчитывается как отношение годовой суммы стока к норме (характеризует водность года), в

долях от единицы;

3 – индекс изменения склонового стока за холодный период;

4 – эта же величина за теплый период года, рассчитывается как отношение наблюденного стока к расчетному (по графику приведения), в долях от единицы.

На всех водосборах был проведен 7-летний калибровочный цикл геоэкологических исследований для установления математических зависимостей между контрольными и опытными бассейнами.

Так, для пары водосборов №1 и №4 (контрольного) ручьев установлены связи месячных сумм стока *H* (мм слоя) достаточно высокого уровня зависимости:

водосбор №1 со сплошнолесосечной рубкой H_1 и водосбор №4 (контрольный) H_4:

за холодный период $H_1 = 0.880 \times H_4$ при R^2=0.932;

за теплый период $H_1 = 0.822 \times H_4$ при R^2=0.959.

Для пары водосборов №2 и №3 (контрольный):

водосбор №2 с котловинной рубкой H_2 и водосбор №3 (контрольный) H_3:

за холодный период $H_2 = 1.032 \times H_3$ при R^2=0.940;

за теплый период $H_2 = 0.944 \times H_3$ при R^2=0.963.

В результате изучения склонового стока на малых водосборах в формации дуба скального установлено, что условия для регулирования паводков в этой зоне весьма неблагоприятны. Так, максимальные за месяцы модули стока за многолетний период изменялись здесь в среднем от 8.1 до 15.3 л $с^{-1}$ с 1 га, т.е. их величины в 8-14 раз выше, чем в зоне буковых лесов. Максимальные годовые модули стока также очень высоки – в отдельные годы достигают 49 л $с^{-1}$ с 1 га. Глубина части почвенного профиля, способного быстро впитывать осадки, в дубравах в 3 раза меньше, чем в буковой зоне. Склоны гор под дубравами региона не могут регулировать дренажным стоком ливни интенсивностью более 0.1 мм $мин^{-1}$ и суммой осадков более 30 мм (Коваль, Битюков, 2001).

После проведения опытных рубок в формации дуба скального на малых (элементарных) водосборах со сплошной рубкой максималь-

ное увеличение стока (в 2.5 раза) наблюдалось на 3-5-й год после рубки (рис. 33, 34). В среднем сток на водосборе со сплошнолесосечной рубкой увеличился в 1.46 раза; максимальное увеличение в 2.5 раза, наблюдалось в первые 2 года после рубки (рис. 34). При этом имеются различия в регулировании стока холодного и теплого сезонов вследствие балансовых особенностей каждого из них.

На водосборе с котловинной рубкой увеличение стока в 1.1 раза наблюдалось около 15 лет после рубки. Тренд индексов изменения стока на водосборе 2 с котловинной рубкой в течение 29 лет после проведения рубки очень медленно приближался к 1 (рис. 33), инфильтрационная часть водного баланса была в 3 раза меньше, чем на контрольном водосборе. Поступление влаги в глубокие горизонты почв уменьшается до 65 мм в год за счет возрастания быстрого склонового стока (при годовом количестве осадков 1300-1700 мм). При этом здесь характерны значительные величины объемов и коэффициентов стока паводков, составляющих в среднем около половины всех выпадающих осадков. В холодный период года основная часть паводков имеет коэффициенты стока, равные 90-98%.

Как на площади сплошнолесосечной рубки с 30-летними молодняками, так и на водосборе с котловинной рубкой индексы изменения склонового стока в некоторые годы снижаются до величин 0.9, в другие годы увеличиваются до 1.2-1.3, особенно в холодные периоды, когда регулирование выпадающих осадков площадью водосбора минимальное, а коэффициенты зимних паводков приближаются к 0.95 (рис. 33, 34).

Ниже приведены результаты анализа экспериментальных данных по суммарным за месяцы осадкам и стоку за весь период наблюдений по водосборам с различными опытными рубками в дубравной зоне – на ЛГС «Горский» и контрольных водосборах. Следует отметить значительные различия суммарного месячного стока по всем водосборам за холодный и теплый сезоны при одинаковых величинах стокообразующих осадков. Так, по всем водосборам при их размерах водосбора от 6 до 24 га в среднем коэффициенты склонового стока в холодный

период в два раза выше таковых для теплого периода.

В результате изучения склонового стока на малых водосборах в формации дуба скального установлено, что условия для регулирования паводков в этой зоне весьма неблагоприятны. Максимальные годовые модули стока здесь очень высоки – в отдельные годы достигают 49 л/с с 1 га. Склоны гор под дубравами не могут регулировать дренажным стоком ливни интенсивностью более 0.1 мм мин.$^{-1}$ и суммой осадков более 30-40 мм.

Рубки леса существенно сказываются на составляющих водного баланса насаждений. Они ведут к увеличению склонового стока, к снижению суммарного испарения и инфильтрационной составляющей. Экспериментально доказано, что наибольшее нарушение водорегулирующих функций насаждений дуба скального происходит при применении сплошнолесосечных рубок с тракторной технологией лесосечных работ. При изначально слабой водорегулирующей способности насаждений формации дуба скального негативное влияние сплошнолесосечной рубки, в первые годы, сказывается в резком снижении грунтового питания рек (до нулевых величин), за счет резкого увеличения склонового стока.

В результате изучения склонового стока на горных водосборах ЛГС "Горский" в формации дуба скального за период исследования 1994–99 гг. установлено, что сток на водосборах наблюдается в течение 50–80 % продолжительности гидрологического года. В течение холодного периода количество дней со стоком составляет 75–100 %, теплого – 20–70 % его продолжительности.

Склоновый сток неравномерно распределяется по сезонам. Его большая часть приходится на холодный период гидрологического года – 56–97 %. на теплый период – 3–44 % годовой величины стока. Средние коэффициенты склонового стока составляют: за гидрологический год – 53–59%. за холодный период – 73–81%. за теплый период – 24–34%.

Максимальные модули суточного стока достигают за холодный период 1392–2365 л/сек с км^2, за теплый период – 546–863 л/сек с км^2, т.е. разница составляет 2 – 4.4 раза.

Средние величины паводочного стока составляют за холодный период 45–55 мм. за теплый – 18–20 мм, т.е. средняя величина паводков за теплый период в 2–3 раза ниже, чем за холодный период, при почти одинаковых значениях паводко-образующих ливней: 50–70 мм зимой и 45 мм летом.

Коэффициенты паводкового стока составили за холодный период 70–80%, в то время как за теплый период – 45–50%. Следовательно, их соотношение составляет 1.4–1.8:1, достигая своей максимальной величины – 96 % в холодный период года.

Многолетними исследованиями установлено, что водоохранная роль дубрав региона проявляется в продолжительном влиянии лесной растительности на водный баланс элементарных водосборов, которое проявляется через увеличение грунтового питания рек и ресурсов подземных вод, что определяет качество вод и сбалансированность режима их потребления. Экспедиционные исследования формирования стока в зоне дубрав показали, что условия впитывания здесь характеризуются чрезвычайной пестротой. На склонах с расстроенными древостоями вторичного происхождения сомкнутостью 0.3–0.4 (которые возникают на площадях интенсивного лесопользования) коэффициенты стока достигают очень высоких значений (0.8–0.9) при доле поверхностного стока до 90%, т.е. практически все выпадающие осадки сбрасываются в основные реки быстрым склоновым стоком, вызывая катастрофические паводки и интенсивную эрозию почв на склонах.

Изучение ***склонового стока*** на водосборах ЛГС "Горский" в формации дуба скального позволяет характеризовать эту зону менее способной регулировать паводки в сравнении с буковой. Так, максимальные за месяцы модули стока изменялись здесь в среднем от 8,1 до 15,3 л/с с га, т.е. их величины в 8-14 раз выше, чем в зоне буковых лесов. Максимальные годовые модули стока также очень высоки - в отдельные годы достигают 49 л/с с га. Коэффициенты стока за отдельные паводки за холодный период имеют значение 50-93%, а в летние месяцы - уменьшаются до 2-22%. В среднем за 3 года наблюдений коэффициенты паводкового стока за холодный сезон равны 62-72%, а

за теплый - 22-29%. Следовательно, их соотношение 2,6:1 при почти одинаковых средних значениях паводко-образующих ливней: 60 мм - зимой, 50 мм - летом.

Сопоставляя условия формирования стока в 2-х основных формациях Северо-Западного Кавказа - буковой и дубовой, - следует отметить очень высокую водорегулирующую способность буковых насаждений (и это при условии большей увлажненности) и слабое водорегулирующее воздействие дубрав, особенно в холодный период. В связи с малым бассейновым регулированием стока (как отмечалось выше, бассейны с площадью водосбора 23 га и 7 га практически не отличаются величиной регулирования) в зоне дубрав очень часто возникают периоды с напряженным водным балансом - с одной стороны, и катастрофическими паводками - с другой.

4.9 Водный баланс горных склонов в юго-восточной части региона

В зоне буковых лесов по результатам наблюдений на ЛГС «Аибга» имеется возможность рассчитать в целом водный баланс для элементарных бассейнов. Для водотоков, представляющих собой притоки 1-го порядка и дренирующих только часть грунтовых вод своего бассейна, уравнение водного баланса может быть записано в следующем виде (Соколовский,1968):

$$\mathbf{X = Y_{пов} + (k_1 * Y_{под} + k_2 * Y_{под}) + Z \pm \Delta I,} \qquad (40)$$

где: X - осадки; $Y_{пов}$ - поверхностный сток; $Y_{под}$ - подземный сток; k_1- часть подземного стока, дренируемая данным водотоком; k_2- часть подземного стока, дренируемая водотоком высшего порядка, причем $k_1 + k_2 = 1,0$; Z - суммарное испарение; ΔI - аккумуляция вод в бассейне.

В горных условиях величина $Y_{пов}$ включает не только поверхностный, но и дренажный сток, проходящий по крупным дренам верхнего почвенного слоя, т.е. целиком склоновый сток, поскольку гидравлические характеристики этих видов стока сопоставимы и разделить их очень трудно. При этом транспирация растений травяно-

кустарничкового покрова до рубок (1966—1973 гг.) приводится ориентировочно, так как принята равной средней величине из определений, полученных на контрольном водосборе в последующие годы (в таблице эти величины даны в скобках). Грунтовый сток на водосборах получен выделением из общего стока склоновой составляющей анализом гидрографов стока. Перехват осадков пологом леса в зимнее время и испарение со снежного покрова не определяли из-за методических сложностей.

Инфильтрационная часть баланса определена как остаточный член, поэтому включает и ошибки определения каждого элемента баланса. Контролем при этом служил водный баланс четвертого водосбора, где водоток дренирует почти весь сток (как и на основных реках региона). Для отдельных водосборов стационара коэффициент дренирования подземных вод до рубки изменялся от K=0,0 (для ручьев 1-го и 3-го водосборов) до K=0,067 (для ручья второго водосбора) и K= 0,823 (для ручья 4-го водосбора) (Битюков, 2001).

Как установлено, изменения элементов водного баланса на водосборах наблюдаются по периодам лет и по годам независимо от хозяйственной деятельности. Это можно проследить по водному балансу 4-го (контрольного) водосбора (табл. 11), где в более многоводные годы (при сумме осадков 2600—2700 мм) общий сток возрастает до 0,61—0,72 (61—72% от осадков) и уменьшается (до 0,3%) доля инфильтрации ниже уровня дренирования стока ложем ручья. Установлено, что в годовом водном балансе лесного склона преобладает инфильтрация в почво-подстилающие грунты – вместе с зимним испарением она составляет 63-67%; сюда входит грунтовый сток (43-56%) и инфильтрация ниже уровня дренирования грунтовых вод 4-ым ручьём с зимним испарением (8-19%). Суммарное испарение за вегетационный период (включая испарение перехвата осадков) достигает почвы одной трети баланса -27-33%. Наименьшие величины из расходных статей баланса имеет склоновый сток (3-6%), в котором основную долю (99%) занимает дренажный сток, проходящий в метровом слое почвы. Соотношение между компонентами водного баланса зависит от приходной его части, т.е. от коли-

чества и режима осадков. Так, в засушливые годы относительная доля инфильтрации меньше (на 4-5%), склоновый сток также меньше (на 3%), а суммарное испарение увеличивается на 3-4% в сравнении со средним по осадкам годом.

В качестве примера расчета годового водного баланса приводится таблица, в которой испарение и инфильтрация получены расчетным путем по сезонам: за холодный период принята условно величина испарения равной 0, а за теплый период величина инфильтрации также условно принимается равной нулю. Этой методикой получены таблицы водного баланса ЛГС «Аибга» за весь период наблюдений. При среднем соотношении элементов водного близко, когда годовая и сезонные суммы осадков которого почти совпадают с нормой, уравнение баланса до рубки можно записать в виде:

в мм: 2595=154+(0,823·1692+0,177·1692)+759-10 (41)

в %: 99,6=5,9+(0,823·65,0+0,177·65,0)+29,1-0,4 (42)

Таким образом, в среднем годовом водном балансе склоновый сток составляет 5,9%, подземный сток (или инфильтрация в почвоподстилающие грунты) – 65%, суммарное испарение – 29,1%. Для отдельных водосборов стационара коэффициент дренирования подземных вод изменяется от k_1 =0,0 (для 1-го и 3-го ручьев) до k_1 =0,067 (для 2-го) и k_1=0,823 (для 4-го ручья).

Таблица 11 - Элементы водного баланса 4-го (контрольного) водосбора ЛГС «Аибга» за 45 гидрологических лет (1966-67 – 2009-10 гг.)

Гидрологические годы	Осадки, мм	Суммарное испарение		Склоновый сток		Грунтовый сток		Разность влагозапасов	
		мм	%%	мм	%%	мм	%%	мм	%%
1966-67	2259	774	34,3	168	7,4	985	45,6	332	14,7
1968-69	1780	693	38,9	118	6,6	936	52,6	33	1,9
1969-70	2599	799	30,8	274	10,5	1282	49,3	244	9,3
1971-72	2983	753	25,3	545	18,3	1763	59,1	-78	-2,7
1972-73	2270	714	31,4	288	12,7	966	42,6	302	13,3
1973-74	2286	731	31,6	408	17,8	1001	43,8	146	6,4
1974-75	2823	795	28,1	526	18,7	1123	39,8	379	13,4
1975-76	2689	596	22,2	562	20,9	1436	53,4	95	3,5
1976-77	2973	910	30,6	448	15,1	1128	37,9	487	16,4

1977-78	2884	725	29,6	565	19,6	1363	47,3	231	8,0
1978-79	2295	895	39,0	495	21,5	947	41,3	-42	-1,8
1979-80	2592	793	30,5	410	15,8	1177	45,4	212	8,2
1980-81	2847	619	21,7	531	18,6	1635	57,4	62	2,2
1981-82	2927	648	22,1	519	17,7	1639	56,0	121	4,1
1982-83	2462	713	28,9	385	15,6	1308	53,1	56	2,3
1983-84	2207	660	30,0	340	15,4	1402	63,5	-195	-8,8
1984-85	2726	882	32,4	380	13,9	1773	65.0	-309	-11,3
1985-86	1874	774	39,1	120	6,4	820	43.8	160	8,5
1986-87	2984	972	22,5	440	14,8	1179	39,5	693	23,2
1987-88	2977	650	20,7	320	10,7	1283	43,1	724	23,1
1988-89	3553	759	21,4	268	7,5	1738	48,9	788	22,2
1989-90	2522	520	20,6	425	16,8	1040	41,2	537	21,3
1990-91	2229	507	22,7	356	16,0	1146	51,4	220	9,9
1991-92	2531	398	15,8	633	25,0	1111	43,9	389	15,4
1992-93	2112	382	18,1	522	24,7	1155	54,7	53	2,5
1993-94	2000	642	32,1	318	15,9	809	40,4	231	11,6
1994-95	3460	724	20,1	811	23,4	1207	34,5	721	20,1
1995-96	2779	880	31,7	573	20,6	1141	41,0	189	6,8
1996-97	2783	571	20,5	878	31,5	1178	42,3	113	4,1
1997-98	1895	366	19,3	266	14,0	788	41,6	532	28,1
1998-99	2422	909	37,5	251	10,4	1826	75,4	352	14,5
1999-00	1929	371	19,2	939	48,7	571	29,6	48	2,5
2000-01	2521	994	39,4	929	36,8	655	26,0	-56	-2,2
2001-02	3128	635	20,3	929	29,7	1539	49,2	25	0,01
2002-03	2067	383	18,5	1045	50,5	731	35,4	-90	-4,4
2003-04	2010	489	24,3	1281	63,7	230	11,4	10	0,04
2004-05	3080	876	28,4	1332	43,3	943	30,6	-71	-2,3
2005-06	2843	971	34,2	1350	47,5	557	19,6	-35	-1,2
2006-07	2532	503	19,9	1149	45,4	895	35,4	-16	-0,6
2007-08	2361	689	29,6	1068	45,2	571	24,2	23	1,0
2008-09	2188	492	22,5	1169	53,4	562	25,7	-36	-1,6
2009-10	2153	377	17,5	1440	66,9	336	15,6	0	0
Среднее	2536,5	679,4	26,7	613,7	24,6	1092,3	42,8	180,5	6,7
Макс	3553	994	39,4	1440	66,9	1826	75,4	788	28,1
Миним.	1780	366	15,8	118	6,4	230	11,4	-309	-11,3

С точки зрения характеристики водорегулирующей роли леса особый интерес представляет водный баланс в теплое время года, когда происходит активный биологический расход влаги. Расчёты показы-

вают, что осадки, выпадающие за вегетацию расходуются в течение сезона полностью дополнительно ещё используется часть весенних влагозапасов почвы (19-79 мм). Следовательно, приход баланса за вегетацию составляет 939-1419 мм, а для среднего сезона – 1300 мм. Усреднив данные за 5 вегетационных периодов до проведения рубок, получим средний баланс за вегетацию по формуле (40):

в мм: 1208=32+(0,757·572+0,243·572)+604 (43)

в %: 100=2,6+(0,757·47,4+0,243·47,4)+50,0 (44)

В уравнениях (43) и (44) приходная часть состоит на 95,5% из осадков и на 4,5% - из влагозапасов в почве. Из расходных компонентов 50,0% достигает суммарное испарение, в которое входят: транспирация – 32,5%, перехват осадков – 10,3% и испарение с почвы – 7,2%. Несколько меньше (47,4%) занимает инфильтрационная составляющая баланса, и менее всего – 2,6% - приходится на склоновый сток.

В водных балансах отдельных вегетационных периодов соотношение между суммарным испарением и инфильтрацией зависит от увлажненности сезона: в засушливые годы преобладает испарение, а во влажные – инфильтрация. Инфильтрация за теплый сезон зачастую бывает отрицательной, что свидетельствует о большем расходе влаги в течение вегетационного периода, чем ее поступает на водосбор.

Суммарное испарение, достигающее 25,0-26,5% от годовых осадков, зависит в основном от радиационного и теплового балансов вегетационного периода года. В более многоводные годы (при сумме осадков 2600-2700 мм) общий сток возрастает до 0,61-0,72 (61-72% от осадков) и уменьшается (до 0,3%) доля инфильтрации ниже уровня дренирования стока ложем ручья (рис.35).

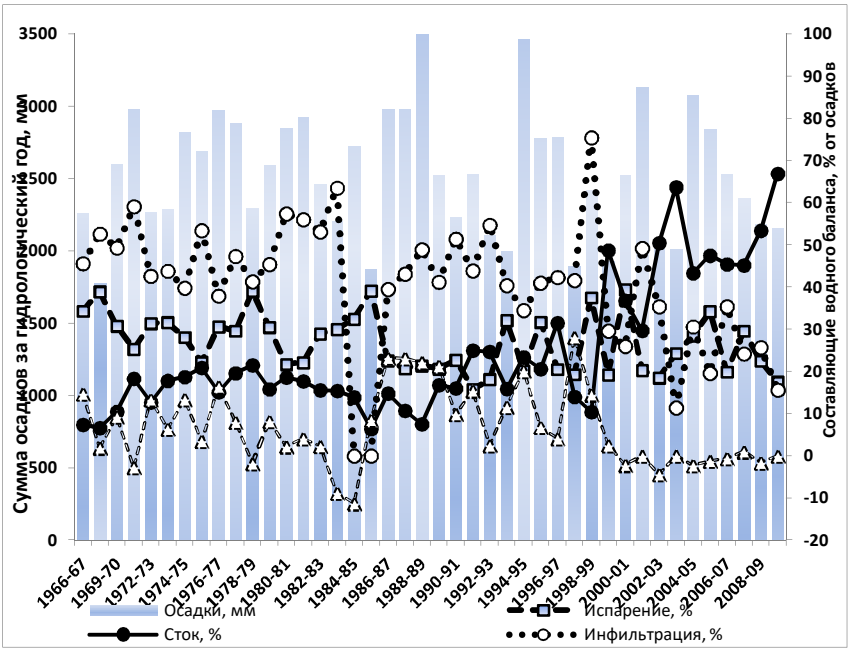


Рисунок 35 - Многолетняя динамика элементов водного баланса на 4-ом (контрольном) водосборе ЛГС “Аибга”

При этом увеличиваются как склоновая, так и подземная составляющие стока. Вследствие такого влияния на водный баланс лесная растительность способствует накоплению влагозапасов на водосборах в холодный период года (до 173 мм), благодаря чему происходит регулирование и наиболее благоприятное распределение стока во времени.

Соотношение элементов водного баланса изменяется от года к году в зависимости от количества выпавших осадков и поступившей солнечной радиации.

Таким образом, буковые насаждения характеризуются высоким водорегулирующим эффектом, и их произрастание на горных склонах в условиях переувлажненной юго-восточной части Черноморского побережья обеспечивает перевод 65% годовой суммы осадков в грунтовые

воды. (рис.36)

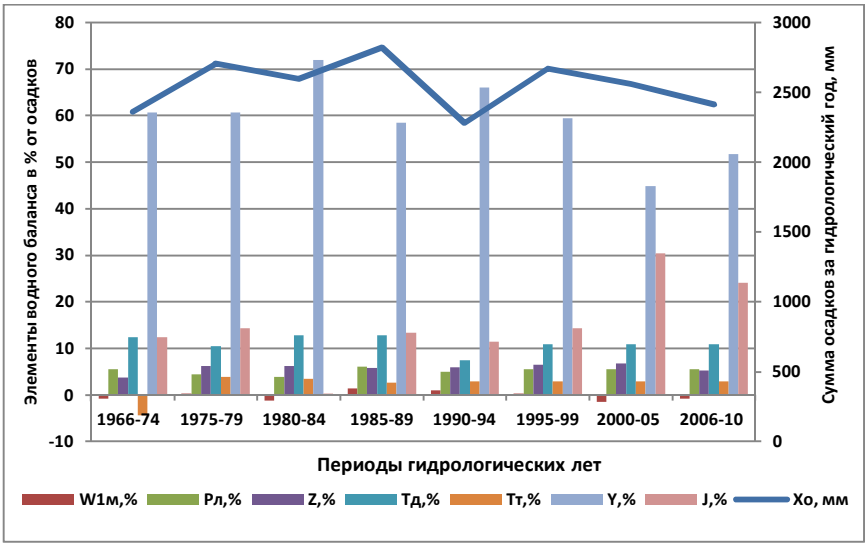


Рисунок 36 - Усредненный водный баланс контрольного водосбора №4 ЛГС «Аибга» за отдельные периоды (в % от годовых осадков)

Обозначения: X_o- осадки на открытом месте; $W_{1м}$ - изменение влагозапасов в 1-метровом слое почвы; $P_л$- перехват осадков пологом леса; Z - испарение с поверхности почвы; $T_д$ - транспирация древостоем; $T_т$ - транспирация травяным покровом; Y -сток; J - инфильтрация.

В целом на всех водосборах с опытными рубками в результате изъятия всего древостоя или его части водный баланс изменился в небольшой мере в сторону уменьшения суммарного испарения и, следовательно, увеличения общего стока. В условиях избыточного увлажнения буковых лесов (годовая сумма осадков 2300-2800 мм) на суммарное испарение расходуется 28-30% годового баланса и баланса за тёплый сезон. Остальные 70-72% баланса уходят на сток - быстрый (т.е. склоновый), замедленный (т.е. грунтовый), и питание глубоких грунтовых вод, которое для малых водосборных бассейнов относится к инфильтрации ниже уровня дренирования подземных вод водотоком. Склоновый сток возрастает с ростом длины склона элементарного во-

досбора. Поскольку 2 водосбора из 4-х на ЛГС «Аибга» охватывают всю длину стока, можно считать предельной величиной склонового стока сток на 2-м водосборе (6-8%). Отсюда, бассейновому регулированию в зоне буковых лесов поддаётся около 60-65% годового баланса.

- Изменение водного баланса склонов. Последующий анализ выявил не только количественные изменения стока в связи с рубками, но и время наступления таких изменений (с точностью до 1 мес). В результате определились наиболее резких три периода: калибровочный (1966-1973 гг.) и два периода после проведения рубок (1974-1979 гг. и 1980-2010 гг.).

По результатам измерений и расчетов элементов водного баланса в табл.12 приведен баланс влаги водосборов с опытными рубками в осреднении за 9 периодов: до рубки (1966-1973 гг.), после рубки (1974-1979 гг.), спустя 5 лет после рубок (1980-1984 гг.), а также спустя 10, 15, 20, 25, 30, 35 и 40 лет после рубки. Разбивка на периоды после рубок на несколько пятилеток обоснована сроком наиболее резких изменений элементов водного баланса во времени. Грунтовый сток на водосборах получен выделением из общего стока склоновой составляющей анализом гидрографов стока. Перехват осадков пологом леса в зимнее время и испарение со снежного покрова не определяли из-за методических сложностей.

Таблица 12- Средние за периоды значения статей водного баланса в букняках на водосборах сплошнолесосечной, котловинной и добровольно-выборочной рубок

Периоды, годы	Сезоны	X_o, мм	$W_{1м}$, %	$P_л$, %	Z, %	$T_д$, %	$T_т$, %	Y, %	J, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Первый водосбор (сплошнолесосечная рубка 1973 г.)								
1966-1973 гг.	теплый сезон	1238	3,5	10,0	7,2	21,4	(8,0)	2,8	50,6
	гидролог. год	2290	-1,0	5,6	4,0	12,0	(4,5)	4,4	68,5
1974-1979 гг.	теплый сезон	1214	-3,1	0	26,8	0	31,3	4.6	34.2
	гидролог. год	2536	1,2	0	12.7	2,6	14,8	5.5	65.9
1980-1984 гг.	теплый сезон	1168	0,4	1,7	27,6	2,6	23,0	13,7	30,9
	гидролог. год	2496	-0,9	0,8	13,0	1,2	10,8	14,8	58,5
1985-1989 гг.	теплый сезон	1275	3,5	9,2	19,4	8,3	10,7	9,7	39,2
	гидролог. год	2723	0,3	4,3	9,1	3,9	5,0	10,3	69,3
1990-94 г.	гидролог. год	2270	4,4	3,4	10,1	18,0	5,7	9,6	48,8
1995-99гг.	гидролог. год	2676	1,6	4,2	8,0	19,0	4,0	9,5	53,6

2000-05 гг	гидролог. год	2599	-3,9	-	52,9			2,6	48,4
2006-10 гг	гидролог. год	2379	-0,8	-	41			4,1	55,2
2-ой водосбор (котловинная рубка: 1-й прием 1974 г., 2-й-1982 г., 3-й-1994 г.									
1966-	теплый сезон	1309	2,7	9,6	6,8	20,7	(7,9)	6,8	48,2
1974 гг.	гидрол. год	2453	-0,8	5,3	3,8	11,3	(4,3)	12,2	62,3
1975-	теплый сезон	1336	-0,3	7,5	13,5	17,6	12,3	11,4	37,4
1979 гг.	гидролог. год	2812	0,1	3,6	6,4	8,4	5,8	18,4	57,4
1980-	теплый сезон	1255	-0,1	5,7	17,8	19,0	13,3	19,8	24,3
1984 гг.	гидролог. год	2697	-0,7	2,6	8,3	8,8	6,2	25,0	48,4
1985-	теплый сезон	1370	3,5	11,6	14,4	17,5	9,6	10,6	24,8
1989 гг.	гидролог. год	2943	-0,2	5,4	6,7	8,1	4,5	13,8	61,1
1990-94гг.	гидролог. год	2423	2,1	2,8	9,0	16,4	6,0	18,6	45,4
1995-99гг.	гидролог. год	2837	0,5	4,1	6,6	15,0	6,2	19,6	47,9
2000-05 гг	гидролог. год	2843	-2,5	-	48,6			10,9	43
2006-10 гг	гидролог. год	2493	1,4	-	40,8			12,4	46
Третий водосбор (добровольно -выборочная рубка 1974г.)									
1966-	теплый сезон	1239	3,4	10,0	7,2	22,5	(7,0)	1,6	51,2
1973 гг.	гидролог. год	2336	-0,9	5,5	3,9	12,4	(4,1)	2,4	70,8
1974-	теплый сезон	1277	-0,3	7,2	14,3	16,6	11,5	0,9	51,2
1979 гг.	гидролог. год	2670	1,0	3,4	6,7	6,9	5,4	2,6	74,9
1980-	теплый сезон	1196	-0,8	7,9	13,5	17,8	12,4	1,9	45,7
1984 гг.	гидролог. год	2557	-1,0	3,7	6,3	8,3	5,8	2,5	72,4
1985-	теплый сезон	1306	3,3	12,3	10,8	24,2	5,2	2,1	42,1
1989 гг.	гидролог. год	2431	1,4	6,6	5,8	13,0	2,8	1,8	69,0
1990-94гг.	гидролог. год	2234	1,6	3,5	10,6	18,5	5,5	5,9	54,4
1995-99гг.	гидролог. год	2651	0,5	3,8	7,0	18,9	6,0	3,7	60,0
2000-05 гг	гидролог. год	2428	-1,6	-	42,7			6,2	52,7
2006-10 гг	гидролог. год	2277	-0,9	-	40,8			3,5	56,2
Четвертый водосбор (контрольный, без рубки)									
1966-	теплый сезон	1264	2,8	10,1	6,9	22,5	(7,8)	44,8	7,9
1974 гг.	гидролог. год	2360	-0,8	5,6	3,8	12,4	(4,3)	60,7	12,4
1975-	теплый сезон	1291	2,9	9,1	12,6	21,4	7,9	48,0	1,0
1979 гг.	гидролог. год	2706	0,3	4,4	6,2	10,5	3,9	60,7	14,3
1980-	теплый сезон	1213	-1,4	8,3	13,3	27,5	7,5	67,4	-25,4
1984 гг.	гидролог. год	2595	-1,2	3,9	6,2	12,9	3,5	72,0	0,3
1985-	теплый сезон	1324	3,3	13,0	12,4	27,3	5,7	56,6	-18,3
1989 гг.	гидролог. год	2823	1,4	6,1	5,8	12,8	2,7	58,5	13,4
1990-94гг.	гидролог. год	2278	1,0	5,0	6,0	7,5	3,0	66,0	11,5
1995-99гг.	гидролог. год	2668	0,4	5,5	6,5	10,9	3,0	59,4	14,3
2000-05 гг	гидролог. год	2561	-1,5	-	26,2			44,8	30,5
2006-10 гг	гидролог. год	2415	-0,8	-	24,7			51,7	24,1

П р и м е ч а н и я к табл.12: X_o- осадки на открытом месте; $W_{1м}$ - изменение влагозапасов в 1-метровом слое почвы; $P_л$- перехват осадков пологом леса; Z - испарение с поверхности почвы; $T_д$ - транспирация древостоем; $T_т$ - транспирация травяным покровом; Y -сток; J - инфильтрация.

В результате сплошной рубки на водосборе №1 возросло (на 10-12 % за теплый сезон) суммарное испарение: от 26 до рубки до 28 % после рубки, в 3,4 раза увеличился сток (с 4,4 до 15 %) и уменьшилась инфильтрация (от 68 до 58 % после рубки). При этом происходило перераспределение составляющих суммарного испарения - взамен отсутствующих транспирации древостоем и перехвата осадков пологом леса на вырубке резко возросли испарения с почвы и транспирация травяным покровом. По мере формирования молодняков на вырубке происходит выравнивание всех составляющих суммарного испарения. Общая величина суммарного испарения в условиях переувлажненной зоны зависит от поступления солнечной радиации и адвективного тепла.

На водосборе №2 (с котловинной рубкой) суммарное испарение в годовом водном балансе изменяется незначительно (в пределах 24-26 %). возрастает сток (как склоновый, так и подземный) - до 25 против 12 % до рубки, уменьшается инфильтрация - до 48 против 62 % до рубки (табл. 12).

На водосборе №3 изменения водного баланса имели место только в первые 5 лет после рубки, что выражалось уменьшением суммарного испарения и увеличением инфильтрации (табл. 12).

Анализ изменений водного баланса методом сравнительных коэффициентов до и после рубки (аналогично анализу суммарного стока) дает следующие результаты. На первом водосборе суммарное испарение уменьшилось в первую пятилетку после рубок на 15, во вторую - на 25%; сток возрос соответственно в 1,25 и 2,8 раза. На втором водосборе суммарное испарение уменьшилось на 12-15%, сток в первую пятилетку возрос в 1,5 и во вторую - в 1,7-1,9 раза. На третьем водосборе уменьшение испарения составило 13-16%,увеличение стока в первый период в 1,1 раза и уменьшение его на 13% -во второй период.

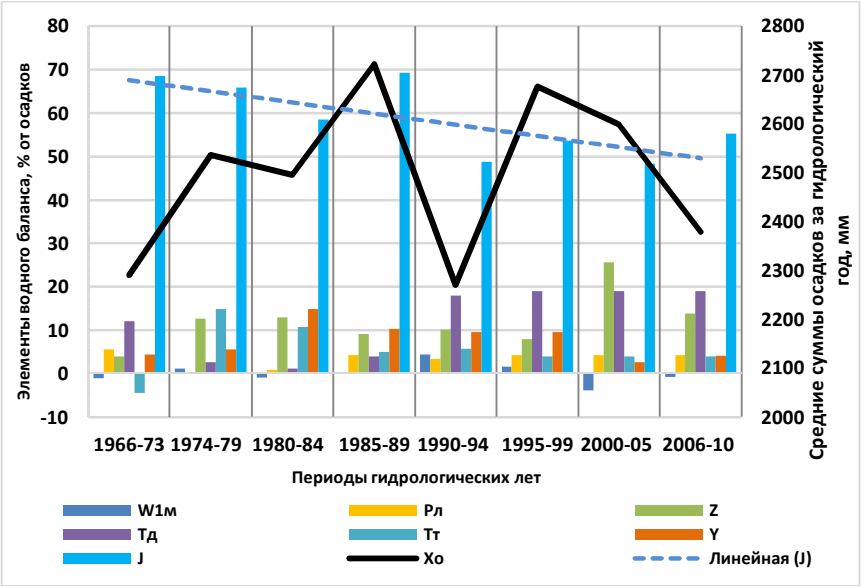


Рисунок 37 - Усредненный водный баланс водосбора №1 ЛГС «Аибга» со сплошнолесосечной рубкой за отдельные периоды (в % от годовых осадков)
Обозначения: X_o- осадки на открытом месте; $W_{1м}$ - изменение влагозапасов в 1-метровом слое почвы; $P_л$- перехват осадков пологом леса; Z - испарение с поверхности почвы; $T_д$ - транспирация древостоем; $T_т$ - транспирация травяным покровом; Y -сток; J - инфильтрация.

Установлено, что величины годового стока для 4-х водосборов колебались от 93 до 1744 мм, что составляет 3,8 - 68,9 % от годовых сумм осадков. Испарение изменялось от 14,4 до 16,6 %; наибольшим изменениям подвержены величины инфильтрации в подстилающие почву породы - от 13,6 до 77,6 %. Это доказывает, что в формировании суммарного стока на водотоках ЛГС “Аибга” принимает участие как склоновый сток, так и глубоководное грунтовое питание. При этом для отдельных ручьёв коэффициент дренирования подземных вод равен: для 1-го и 3-го - k_1= 0,0, для 2-го ручья k_1 = 0,067, и для 4-го k_1= 0,823.

Сопоставляя величины средних слоев стока до рубки и за каждый из двух периодов после рубки, можно отметить, что на водосборе со сплошнолесосечной рубкой суммарный сток увеличился (в 2,4 раза) только на 6-11-й год после рубки.

На водосборе №2 с четырех-приемной котловинной рубкой (первый прием - 8 котловин на 2,0 га в 1973-1974 гг., второй прием - 8 котловин на 2,6 га в 1981-1982 гг.), в среднем суммарный сток увеличился сразу после рубки в 1,35 раза и возрос в 1,92 раза на 6-11-й год после рубки.

Поскольку из-за влияния площади водосбора генезис стока на опытных бассейнах различен (различна доля подземного питания ручьев), имеет смысл провести анализ суммарного сезонного стока каждого водосбора по периодам с помощью сравнительных коэффициентов. Анализ сравнительного изменения стока за период после рубок по отношению к контрольному водосбору показал, что в первый пятилетний период после опытных рубок наблюдалось увеличение стока на всех водосборах: в 1,3 раза - на сплошной вырубке, в 1,5 - на котловинной, в 1,06 раза - на добровольно-выборочной.

В следующий пятилетний период увеличение стока составило: на сплошной вырубке - в 2,8 раза, на площади котловинной рубки - в 1,7 раза. На водосборе с добровольно-выборочной рубкой сток стабилизировался.

Анализ изменений водного баланса методом сравнительных коэффициентов до и после рубки (аналогично анализу суммарного стока) дает следующие результаты. На первом водосборе суммарное испарение уменьшилось в первую пятилетку после рубок на 15, во вторую - на 25%; сток возрос соответственно в 1.25 и 2,8 раза. На втором водосборе суммарное испарение уменьшилось на 12-15%, сток в первую пятилетку возрос в 1,5 и во вторую - в 1,7-1,9 раза. На третьем водосборе уменьшение испарения составило 13-16%,увеличение стока в первый период в 1,1 раза и уменьшение его на 13% -во второй период.

Выводы. Изучение водного баланса на малых водосборах с ненарушенными рубкой буковыми древостоями позволило определить, что в многолетием разрезе баланс состоит из годовых осадков 2940 мм, суммарного стока 1940 мм (66% осадков) и суммарного испарения - 1000 мм (34%).

В результате 40-летних наблюдений за элементами лесных эко-

систем, которые были изменены в результате проведения рубок главного пользования, установлено, что в связи с рубками изменяются все параметры среды При анализе изменений элементов водного баланса на площадях рубок в буковых насаждениях отмечается, что на сплошной вырубке 40-летнего возраста значительно снизились транспирационные расходы влаги травостоем, инфильтрация возросла на 15-20%. На водосборах с котловинной и добровольно-выборочной рубками наблюдается тенденция к стабилизации элементов водного баланса в сравнении с контрольным водосбором.

Водный баланс территории определяется режимом и общим количеством выпадающих осадков. Годовые суммы осадков за период наблюдений колебались в пределах 1626-2051 мм, а за вегетацию -757-1232 мм. Число дождливых дней за вегетационный период составляет 68-93. Многолетними измерениями установлено, что для холодного времени года (ноябрь – март) характерны частые осадки с малыми интенсивностями (до 0,02-0,08 мм/мин) и значительной продолжительностью (5-9 часов и больше). В теплое время года (апрель-октябрь) осадки реже почти в полтора раза, но зато они значительно больше по интенсивности (до 2,0 мм/мин) и величине (до 80-150 мм). Основная часть сильных ливней приходится на лето.

Распределение осадков внутри года неравномерное – от 28 до 380 мм за месяц. В зимний период их выпадает в 1,5-2 раза больше. Максимальная интенсивность ливней 1,96 мм/мин, наибольшие из зарегистрированных количеств осадков за ливень - 120 мм.

Лесной полог трансформирует осадки во времени и по площади. Благодаря явлению перехвата в лесу наблюдается поле осадков, в котором их слои подчиняются закону нормального статистического распределения. Общий перехват всем насаждением увеличивается с ростом количества осадков за дождь. За период наблюдений перехват изменялся в пределах от 106 до 135 мм за вегетацию (в среднем 12,5 % от выпавших осадков). Сток по стволам деревьев за сезон составил в среднем 4,5 %.

Следует сделать также определенный вывод о тенденции из-

менения лесных экосистем после любых вмешательств в их природное состояние. По результатам почти полувекового мониторинга экосистем буковых лесов установлено, что после любого хозяйственного воздействия (любые рубки или интенсивное рекреационное воздействие) лесные экосистемы не возвращаются к исходному состоянию (как по реакции биоты, так и по выполнению защитных функций лесов). Эти экосистемы по своим геоэкологическим свойствам в сравнении с исходными представляют собой другие экосистемы. (Битюков и др., 2012).

4.10 Водный баланс горных склонов в северо-западной части региона

Насаждения дуба скального, как главный и широко распространенный компонент горных экосистем Северо-Западного Кавказа, имеют исключительно важное средозащитное значение. Они способствуют превращению поверхностного стока во внутрипочвенный, препятствуют возникновению эрозионных процессов, разрушительных паводков, селей и лавин. Регулируют гидрологический режим рек, ослабляя резкие колебания стока в паводки, способствуют улучшению качества воды. Участвуют в восстановлении и стабилизации природных процессов на горных водосборах после проведения на них рубок главного пользования.

Разработка научно обоснованных рекомендаций по повышению защитных функций насаждений формации дуба скального имеет целью оптимального пользования древесиной при максимальном сохранении всех полезных функций горных лесов. В результате исследований установлено, что максимальными средообразующими свойствами обладают насаждения, не затронутые хозяйственной деятельностью. В результате любой деятельности в горных лесах их защитные свойства ухудшаются. Поэтому эталоном при изучении защитных функций насаждений являются лесные формации без следов лесохозяйственных мероприятий.

При лесохозяйственном использовании горных лесов дуба скального наибольшее влияние на их водоохранно–защитные функции оказывает технология лесозаготовок. При тракторной трелевке древе-

сины наклонно расположенные волока являются своеобразным водоупором, концентрирующим поверхностный сток со склонов, при изначально слабой водорегулирующей способности почв под насаждениями дуба скального. Вследствие этого нарушается почвенный покров, уплотняются верхние горизонты почвы, увеличиваются объемы и скорости паводков. Все это способствует интенсивному развитию плоскостной и глубинной эрозии, ухудшению фильтрационных свойств почв и дальнейшему увеличению поверхностного стока. Кроме того, происходит потеря верхнего плодородного слоя почв, что ведет к снижению производительности восстановившихся на вырубках древостоев.

Рубка леса ведет к уменьшению листового опада, являющегося основным источником пополнения лесной подстилки, играющей огромную почво– и водоохранно–защитную роль в горных лесах, которая способствует замедлению склонового стока и переводит его в внутрипочвенный за счет увеличения водопроницаемости и шероховатости почвенной поверхности горных склонов.

Живой напочвенный покров, как один из факторов, влияющих не только на эрозионные процессы в горных районах, но и на возобновление насаждений пройденных рубками, также претерпевает существенные изменения. В первые годы после рубки значительно увеличивается высота и масса травостоя, представленного преимущественно злаками и ежевикой. Это способствует, с одной стороны иссушению и уплотнению верхних почвенных горизонтов, что приводит к уменьшению инфильтрации в почвоподстилающие грунты, с другой – препятствует образованию стока с горных склонов за счет расходования части влаги в процессе жизнедеятельности на транспирацию.

На вырубках образуются порослевые дубово–грабовые молодняки с поверхностной корневой системой, при интенсивном росте которых, на не поврежденных участках почвы при рубке леса, существенно улучшаются водно–физические характеристики поверхностного горизонта почв, что предопределяет улучшение условий просачивания выпавших осадков в почво-грунты.

Таблица 13 - Водный баланс водосбора № 4 (контрольного к водосбору № 1).

Гидрологические годы	Осадки мм	Расходные элементы баланса. %				Изменение влагозапасов в почве,%
		перехват осадков	сток	испарение	инфильтрация	
1977-78	1196	4.9	51.8	41.7	1.6	0.1
1978-79	1259	8.7	38.5	42.2	10.6	3.9
1979-80	1354	9.8	48.9	39.9	-3.4	-4.8
1980-81	1741	8.4	46.2	24.9	20.5	6.0
1981-82	2238	8.4	52.5	28.4	8.0	-2.7
1982-83	1774	5.2	52.7	34.2	7.9	5.9
1983-84	1179	5.6	31.1	37.5	25.8	2.5
1984-85	1743	3.0	40.8	36.3	11.7	-8.2
1985-86	1114	8.4	36.9	32.8	20.0	-1.9
1986-87	1509	7.5	42.5	32.8	17.2	6.0
1987-88	1965	11.9	46.5	20.4	12.7	-8.5
1988-89	1798	12.5	50.2	26.7	10.6	3.4
1989-90	1256	4.0	50.5	30.1	15.4	0.0
1990-91	1496	5.0	35.5	25.8	27.0	6.7
1991-92	1710	5.2	47.5	25.7	19.6	2.0
1992-93	1305	5.3	69.3	25.7	8.0	-8.3
1993-94	874	6.0	46.9	26.4	11.8	8.9
1994-95	1982	4.5	55.4	28.8	12.2	-0.9
1995-96	1691	4.3	71.0	25.2	1.2	-1.7
1996-97	1843	4.3	58.3	30.5	6.2	0.7
1997-98	1474	3.8	72.3	7.6	8.3	8.0
1998-99	1708	4.5	39.7	34.7	27.6	-6.5

При исследовании водоохранно–защитных функций горных лесов наиболее обоснованным методом изучения изменения состояния лесных экосистем, под влиянием хозяйственной деятельности, является наблюдение за изменением характеристик водного баланса малых водосборов. В табл.13 приводится подробный баланс влаги метрового слоя почвы за 5–летний период для каждого водосбора стационара.

Как следует из табл.14, в зависимости от количества и режима осадков в течение гидрологического года наблюдаются различия в перераспределении значений расходных элементов водного баланса

Таблица 14 - Водный баланс водосбора № 3 (контрольного к водосбору № 2).

Гидрологические годы	Осадки мм	Расходные элементы баланса, %				Изменение влагозапасов в почве, %
		перехват осадков	сток	испарение	инфильтрация	
1977-78	1259	4.7	53.2	38.6	3.5	5.7
1978-79	1210	9.1	43.4	46.1	-0.6	-2.0
1979-80	1354	9.8	47.8	35.0	1.2	-6.2
1980-81	1636	8.9	51.8	24.8	12.9	-1.6
1981-82	2238	8.4	42.1	28.3	18.4	-2.8
1982-83	1865	5.0	39.0	36.3	19.7	10.5
1983-84	1150	5.7	30.9	45.3	17.2	-0.9
1984-85	1743	3.0	42.9	36.8	12.8	-4.5
1985-86	1114	5.0	48.3	35.2	9.6	-1.9
1986-87	1509	7.5	44.8	30.5	17.2	6.0
1987-88	1965	3.0	42.9	30.7	14.8	-8.6
1988-89	1789	5.9	54.6	27.5	12.0	3.4
1989-90	1256	9.0	62.3	26.2	2.5	0.0
1990-91	1445	5.2	34.0	25.8	28.1	6.9
1991-92	1808	6.7	43.6	29.2	18.6	1.9
1992-93	1356	7.7	59.6	30.6	10.1	-8.0
1993-94	877	5.2	37.6	25.6	22.7	8.9
1994-95	2015	4.3	49.0	30.2	17.4	-0.9
1995-96	1719	4.1	65.6	28.1	3.8	-1.6
1996-97	1874	4.2	50.2	30.6	14.3	0.7
1997-98	1502	3.3	64.1	8.4	16.4	7.8
1998-99	1736	4.2	38.7	35.3	28.3	-6.5

. В течение 5–летнего периода наблюдений в годовом водном балансе водосборов преобладает склоновый сток, доля которого в расходной части баланса водосбора №1 со сплошнолесосечной рубкой, в зависимости от водности года изменялась от 45 до 74 %. Для водосбора №2, на котором была испытана котловинная 2–х-приемная рубка – от 40 до 68 %. Для контрольных водосборов №3 и №4 сток в водном балансе составляет соответственно 39– 66% и 40–72% Доля испарения составляет для водосбора №1 – 6–35%, №2 – 9–35%, №3 – 8 – 35%, №4 – 8 – 35%. Доля инфильтрации для водосбора №1 – 6 – 23%, №2 – 4 – 25%, №3 – 4 – 28%, №4 – 1–28%. В среднем за 5–летний период исследований на водосборе №1 в среднегодовом балансе перехват со-

ставил 4%. склоновый сток – 56%. испарение – 26%. инфильтрация и влагозапасы в почве – 13%. На водосборе №2 – средний перехват равен 4%, сток – 58%, испарение – 24%, инфильтрация и влагозапасы в почве – 13%. На водосборе №3 перехват составляет 4%, сток – 53%, испарение – 27%, инфильтрация и влагозапасы в почве – 16%. На водосборе №4 перехват – 4%, сток – 59%, испарение – 26%, инфильтрация и влагозапасы в почве – 11%.

Таким образом, расходная часть годового водного баланса водосборов наполовину состоит из стока, примерно одну четвертую часть занимает испарение, и около 4% приходится на перехват осадков пологом леса (т.е. суммарное испарение составляет около 30 % в годовом водном балансе), 15% приходятся на долю инфильтрации и аккумуляции влаги в почве (табл.14).

Это свидетельствует о том. что процессы накопления и расходования влаги на горных склонах под дубовыми древостоями имеют сложный характер, и насаждения дуба скального Черноморского побережья Кавказа обладают малой водорегулирующей способностью. Динамика элементов водного баланса по годам, на каждом водосборе, показана на рис.38, 39, 40, 41.

В калибровочный период расходная часть водного баланса водосбора №1 состоит на 53% из стока, 37% приходится на испарение, а 10% приходится на инфильтрацию и аккумуляцию влаги в почве. После проведения сплошнолесосечной рубки на 67% площади водосбора резко возрос склоновый сток, суммарное испарение несколько снизилось, практически отсутствует перехват осадков пологом леса и инфильтрация. Следовательно, влияние сплошнолесосечной рубки в первые годы сказывается в резком снижении грунтового питания рек (до нулевых величин), за счет резкого увеличения склонового стока.

По мере роста молодняков на данной вырубке наблюдается восстановление всех составляющих элементов водного баланса. На 6–7-й год после рубки наблюдается резкое снижение склонового стока с водосбора, увеличивается величина перехвата осадков пологом образовавшихся молодняков, кроны которых уже образуют сомкнутый полог,

и инфильтрация в почвогрунты.

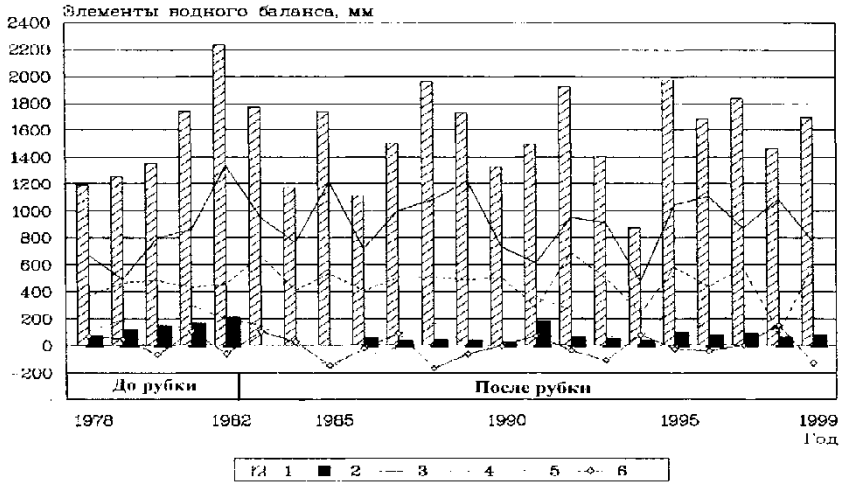


Рисунок 38- Элементы водного баланса на водосборе №1 ЛГС "Горский"
1 – осадки; 2 – перехват осадков; 3 – склоновый сток; 4 – испарение;
5 – инфильтрация; 6 – изменение влагозапасов в почве

По истечении 12–17 лет после рубки по мере облесения водосбора средняя стоковая составляющая водного баланса, за последние 5 лет исследований равна 56%, суммарное испарение составляет 30% (в т.ч. перехват пологом молодняков и оставшихся на корню деревьев – 4 %), инфильтрационная составляющая и влагозапасы в почве – 13% .

В среднемноголетнем балансе влаги контрольного водосбора (№4) за 22–летний период сток составляет 50%, суммарное испарение – 37% (в т.ч. перехват осадков пологом древостоя – 6%), инфильтрация и влагозапасы в почве – 13%.

В калибровочный период расходная часть водного баланса водосбора №2 почти в равной мере состоит из стока (44%) и суммарного испарения (44%), а 12 % приходится на инфильтрационную составляющую и аккумуляцию влаги в почве .

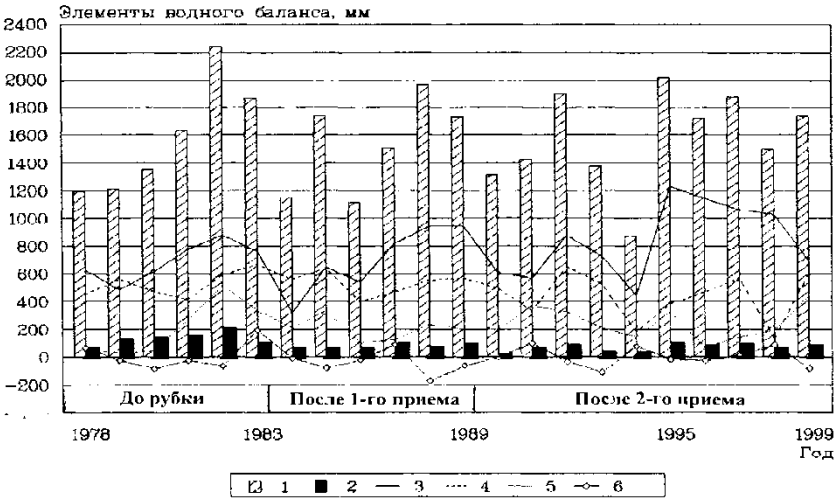


Рисунок 39- Элементы водного баланса на водосборе №2 ЛГС "Горский" 1 – осадки; 2 – перехват осадков; 3 – склоновый сток; 4 – испарение; 5 – инфильтрация; 6 – изменение влагозапасов почвы

После проведения первого (1982–83 гг.) и второго (1988–89гг.) приемов отмечено постепенное увеличение склонового стока, незначительное снижение суммарного испарения (в т.ч. перехвата осадков пологом леса вследствие вырубки части древостоя за каждый прием) и инфильтрационной составляющей водного баланса.

Полного отсутствия перехвата и инфильтрации на водосборе, как после сплошнолесосечной рубки, не наблюдается. Восстановление элементов водного баланса до показателей калибровочного периода идет постепенно. По истечении 12–16 лет после первого приема рубки стоковая составляющая водного баланса (за 1994–99 гг.) в среднем равна 58%, суммарное испарение – 29% (в том числе перехват – 4%), инфильтрация и влагозапасы в почве – 13%.

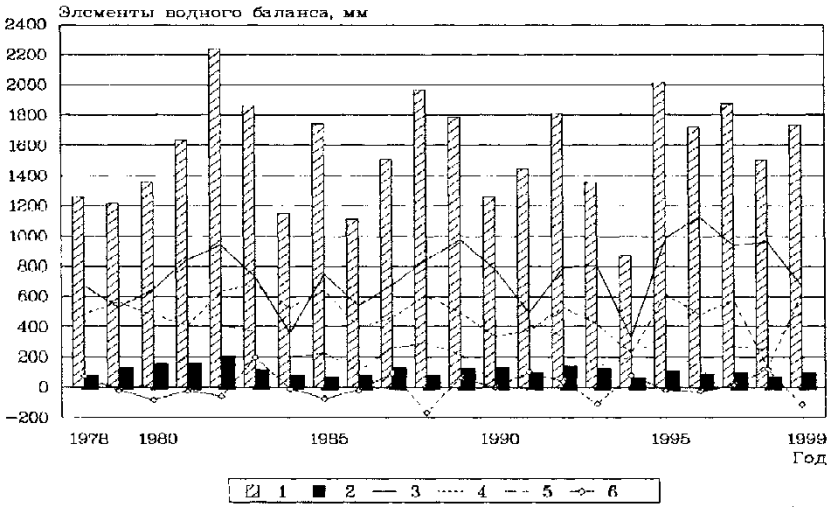


Рисунок 40- Элементы водного баланса на водосборе №3 ЛГС "Горский"

1 – осадки; 2 –перехват осадков; 3 – склоновый сток; 4 – испарение; 5 – инфильтрация; 6 – изменение влагозапасов в почве

В среднемноголетнем водном балансе водосбора №3 за 22–летний период сток составляет 48%, суммарное испарение – 38% (в т.ч. перехват – 6%), инфильтрация и влагозапасы в почве – 14% .

Комплексным показателем изменения экологических функций горных лесов служат характеристики изменения склонового стока. Так, установлено (Коваль. Битюков. 2000), что в течение 2 лет после проведения сплошнолесосечной рубки на водосборе №1 (на 67% площади водосбора) паводки уменьшились на 6–11%. Впоследствии наблюдалось устойчивое увеличение объемов паводков в 1.3 раза, коэффициентов стока – в 1.1 раза, максимальных модулей стока – в 1.0 раза. В целом на водосборе №1 на 3–й год после рубки коэффициенты паводочного стока выше контрольного (водосбор №4) в 1.7 раза, на 6–й год после рубки – в 1.2 раза, на 7–й – в 1.1 раза, на 8–й – в 1.2 раза. К 8–9–летнему возрасту вырубки паводки за холодный сезон выше в 1.1 раза, за вегетационный период – в 1.9 раза, чем паводки на данном водосборе до рубки. Максимальное увеличение склонового стока в 2–2.1 раза наблюдается на 2–5 год после проведения сплошнолесосечной рубки,

при среднем увеличении стока за 6 лет после рубки – в 1.5 раза, за 17 лет после рубки – в 1.2 раза (рис. 38).

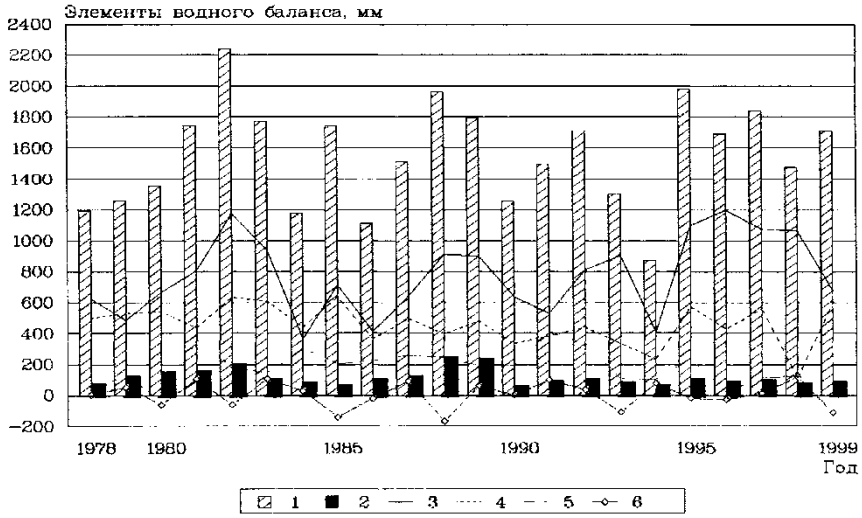


Рисунок 41- Элементы водного баланса на водосборе №4 ЛГС "Горский"
1 – осадки; 2 – перехват осадков; 3 – склоновый сток; 4 – испарение;
5 – инфильтрация; 6 – изменение влагозапасов в почве

На водосборе №2 после первого приема котловиной рубки, когда было вырублено 7 делянок общей площадью 3.92 га (17.6% площади водосбора) максимальное увеличение стока в 1.3 раза наблюдается на 4–й год (в среднем за 6 лет после первого приема – в 1.1 раза). После проведения второго приема через 6 лет на 2.3 га (10.3 % площади водосбора) максимальное увеличение стока в 1.4 раза наблюдалось на 5–й год после второго приема. В среднем за 6 лет после второго приема сток увеличивался в 1.1 раза в год, а в среднем за 16–летний период после первого приема рубки сток увеличивался в 1.1 раза в год (рис.41).

Паводки холодного сезона в 1.1 раза выше. теплого – в 1.2 раза ниже. чем до рубки (в целом за год в 1.1 раза выше). Вследствие этого отмечено увеличение инфильтрационной составляющей до вели-

чин. близких к показателям калибровочного периода.

Полного восстановления элементов водного баланса после данных технологий лесозаготовок до исходных показателей калибровочного периода, за прошедший 16–17–летний период после рубок, не наблюдается. Образующиеся в результате лесохозяйственной деятельности лесные экосистемы не возвращаются к исходному состоянию, хотя начало стабилизации их водоохранно–защитных свойств наблюдается через 10–15 лет после рубки.

Исходя из этого, можно утверждать, что в насаждениях формации дуба скального Черноморского побережья Кавказа, характеризующихся изначальной слабой водорегулирующей способностью, могут быть рекомендованы только котловинные рубки, так как после их проведения наблюдается ухудшение водного баланса горных водосборов в значительно меньшей степени, чем после сплошнолесосечных рубок.

Таблица 15- Усредненный водный баланс за весь период наблюдений на ЛГС «Горский»

Водосбор	Элементы водного баланса в мм и %								Изменение влагозапасов	
	осадки		сток		испарение		инфильтрац			
	мм	%%	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%
Первый	1480.7	100	838.6	56.8	515.5	35.1	137.6	9.2	-12	-0.9
Второй	1508.8	100	730.3	50	505.3	33.9	237.1	16.2	-3.8	0.1
Третий	1498.5	100	730.5	48.6	527.4	35.3	234.5	15.7	1.2	0.8
Четвертый	1464	100	796.1	54.8	457.7	31.5	209.9	14.6	13.4	1

На 2-ом водосборе с 2-х-приемной котловинной рубкой расходные элементы баланса составили: сток - 50 % (на контроле 48.6 %). суммарное испарение – 33.9 % (на контроле 35.3 %). Обращает внимание тот факт. что в среднем водном балансе величина изменения водного баланса близка к 0. Очень мала инфильтрационная часть баланса (9-16 % от выпадающих осадков). что говорит о низкой водорегулирующей роли лесных насаждений в этой части Черноморского побережья Кавказа. В табл.15 приведен усредненный водный баланс за весь период наблюдений в дубравной зоне региона.

На водосборе №4 наблюдения велись только до июня месяца -

в связи с уничтожением регистрирующих устройств. Последующий расчет элементов водного баланса позволил сделать вывод о степени трансформации водного баланса на площадях с опытными рубками разного возраста. В табл.16 приводится 5-летний водный баланс водосборов за период 1999-2004 гг. При анализе изменений элементов водного баланса на площадях рубок в формации дуба скального отмечено уменьшение различий между водосборами со сплошнолесосечной и котловинной рубками в сравнении с контрольными водосборами (рис.42).

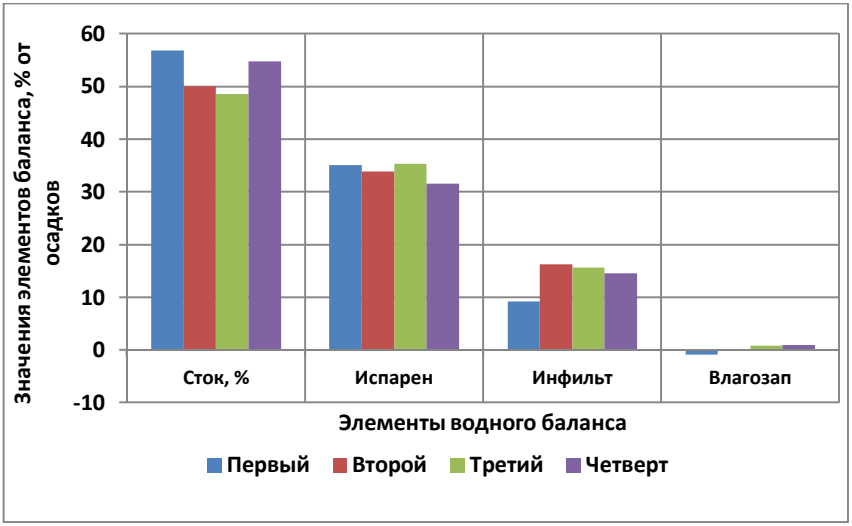


Рисунок 42 – Усредненный водный баланс 4-х экспериментальных водосборов за весь период наблюдений (в % от осадков).

При анализе изменений элементов водного баланса на площадях рубок установлено, что на водосборе со сплошной вырубкой максимальное увеличение стока (в 2.1 раза) наблюдается на 3-5-й год после рубки, а среднее увеличение стока за 10 лет составляет в 1.6 раза за год. На водосборе с котловинной рубкой продолжительность ее влияния на увеличение стока (в 1.1 раза) составляет около 15 лет.

Таблица 16 - Усредненный водный баланс водосборов ЛГС “Горский” за периоды до и после рубок

Водосборы ЛГС	Период наблюдений. годы	Осад-ки, мм	Расходные элементы баланса в %					Измен. влагозапас. в почве
			перехват осадк.	испар. с почвы	сток	транспирация	инфильтр а-ция	
Водосбор со сплошнолесосечной рубкой								
1-ый ручей	1977-82	1545	8.2	17.2	51.5	14.4	8.7	1.3
	1982-88	1510	0.9	17.3	63.4	16.4	0.9	-1.1
	1989-94	1393	5.0	13.0	53.0	16.5	11.0	1.5
	1995-99	1676	2.9	10.4	59.4	18.8	10.0	-1.6
4-ый ручей (контр)	1977-82	1532	8.2	16.6	49.3	8.4	17.3	6.0
	1982-88	1510	7.2	14.6	59.7	5.8	8.8	-2.7
	1989-94	1328	7.0	15.0	49.6	9.7	17.2	1.5
	1995-99	1667	7.0	*7.3*	66.6	6.2	10.2	2.6
Водосбор с котловинной (узколесосечной) рубкой								
2-ой ручей	1977-83	1560	7.7	17.2	44.4	17.2	13.5	0.7
	1983-88	1478	4.1	14.1	44.2	21.4	13.7	-2.5
	1989-94	1392	4.9	12.9	46.4	16.4	17.9	1.5
	1995-99	1708	3.5	8.7	61.0	18.6	8.3	-2.0
3-ий ручей (контр)	1977-83	1560	7.7	17.2	46.6	17.4	11.1	0.7
	1983-88	1478	4.6	13.9	42.8	21.6	14.6	-2.5
	1989-94	1348	5.0	13.0	47.5	16.5	16.5	1.5
	1995-99	1712	5.0	11.2	55.4	13.6	13.1	1.7

Отмечено, что чем хуже первоначальное состояние древостоев и почвы, тем меньшее влияние оказывают рубки на сток, и тем короче период восстановления защитных функций до исходного состояния. Инфильтрационная часть водного баланса в сравнении с контрольным водосбором меньше в 3 раза, поступление влаги в глубокие горизонты почвогрунтов уменьшается до 65 мм в год за счет возрастания быстрого склонового стока.

Баланс влаги контрольного 4-го водосбора практически одинаков за этот период: сток - 49%, суммарное испарение - 43%, инфильт-

рация - 9%. В период после рубки на контрольном водосборе соответствующие величины составляют: 44,40 и 14 %%.

С учетом изменения элементов баланса на контрольном водосборе определено увеличение стока на 1-ом водосборе за 6 лет после рубки - в 1.4 раза; суммарное испарение несколько снизилось; практически исчезла инфильтрационная составляющая баланса. Следовательно, влияние сплошнолесосечной рубки сказалось в резком уменьшении (до нулевых величин) грунтового питания, составляющего основной резерв для питьевых вод.

На 2-ом водосборе с 2-приемной котловинной рубкой расходные элементы баланса до рубки составили: сток - 44.4% (на контроле 46.6%), суммарное испарение - 42.1% (на контроле 42.3%). После рубки на 2-ом водосборе сток увеличился в 1.07 раза, испарение не изменилось, а инфильтрационная составляющая баланса уменьшилась в 0.77 раза, т.е. на 4% по балансу.

Таким образом, сплошнолесосечные рубки на водосборах в формации дуба скального при условии очень напряженного водного баланса до рубки (на инфильтрацию приходится лишь около 10% осадков) приводит к уменьшению грунтового питания рек до нулевых величин и к увеличению склонового стока в 1.4 раза. Групповопостепенные (котловинные) рубки воздействуют в направлении ухудшения водного баланса в значительно меньшей степени и могут быть рекомендованы к применению в условиях Северо-Западного Кавказа.

На рис. 43-45 иллюстрируются особенности строения горных долин рек региона. На рис. 46 показаны особенности возникновения склонового стока при стокобразующих ливнях в буковой зоне..

Рисунок 43 – Долина реки Мзымта в среднем течении

Рисунок 44 – Долина реки Псоу в среднем течении

Рисунок 45 - Долина реки Туапсе в нижней трети течения

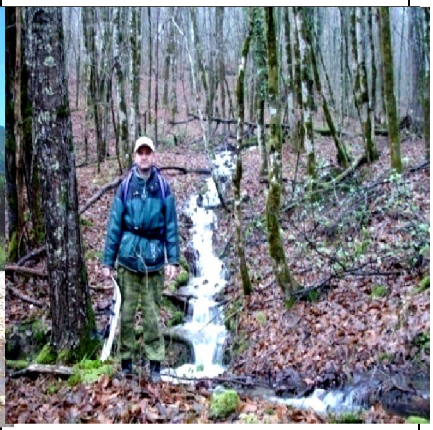


Рисунок 46 – Ручейковая сеть - склоновый сток в период ливней.

Глава 5
ИЗУЧЕНИЕ СКЛОНОВОГО СТОКА ПО ЭКСПЕДИЦИОННЫМ ДАННЫМ

Организация экспедиционных исследований склонового стока с использованием методов дождевания больших площадок и инфильтрационных съёмок склонов требует серьёзного приборного оснащения, большого количества участников работ, а также организационных усилий. Такие работы были проведены в начале изучения гидрологической ситуации на Черноморском Побережье Кавказа Сочинской научно-исследовательской станцией лесного и лесопаркового хозяйства (СочНИЛОС) в содружестве с кафедрой гидрологии Одесского гидрометеорологического института (ОГМИ) более полувека назад. В настоящее время этих организаций уже не существует, однако уникальные результаты работ, полученные в этот период исследований природы ЧПК актуальны и в настоящее время (с учетом важности гидрологической оценки территорий при освоении бассейнов основных рек ЧПК). В связи с этим авторы сочли необходимым привести основные результаты экспедиционных работ в бассейнах самых крупных рек региона.

Следует отметить, что в течение десятилетнего периода экспедиции на территории Северо-Западного Кавказа были проведены в бассейнах рек Мзымты, Шахе. Хобзы, Буу, Псекупса, Джубги и других рек региона. Авторы решили остановиться на характеристике генезиса склонового стока в бассейнах рек Мзымты и Шахе, а также особенностей стока в причернорской зоне региона.

5.1 Экспедиционные исследования генезиса стока в бассейне реки Мзымта

5.1.1 Природные условия района экспедиционных работ

Район экспедиционных работ входит в среднегорную часть Большого Сочи и включает кварталы 34,45,47 и 56 Кепшинского лесни-

чества Сочинского НП (бассейн р.Чвежипсе) и земли плодово-пчеловодческого хозяйства у пос.Красная Поляна (бассейн р.Бешенки)..

Рельеф бассейна р.Мзымты образован рядом более или менее параллельных хребтов, следующих с северо-запада на юго-восток. Южнее Главного Кавказского хребта проходит горный массив Аибга - Турьи горы - Ачишхо - Чура с вершинами свыше 2000 м над ур.м. Ближе к морю проходят хребты Дзыхра - Ахцу - Алек. Между хребтами имеются понижения - депрессии. Хребты, образованные тектоническими разломами, сложены преимущественно более твердыми породами, а депрессии - менее плотными сильно подверженными размыву. Так, первая гряда хребтов, расположенная южнее Главного, сложена среднеюрскими вулканическими сланцевыми и кристаллическими породами, а к западу в этой гряде встречаются верхнеюрские известняки. Следующие, более низкие гряды, преимущественно состоят из глинистых сланцев и песчаников юрского возраста, частично- мергелей и известняков мелового периода. Горные гряды и хребты расчленены на отдельные массивы многочисленными реками и ручьями. В хребтах, сложенных вулканогенными породами, кремнистыми песчаниками, известняками, реки пробили узкие каньонообразные ущелья (например - р.Мзымта в ущелье Ах-Цу). В районах залегания глинистых сланцев образуются более отлогие элементы рельефа с более широкими долинами рек, Здесь наиболее распространены бурые лесные почвы, которые приурочены к склонам различных экспозиций и крутизн, но чаще встречаются на средних и нижних частях склонов. Склоны узких, заросших лесом, влажных балок заняты исключительно бурыми лесными почвами. Формируются они на карбонатных и слабо карбонатных глинистых сланцах и мелкозернистых песчаниках. Преобладают среднемощные почвы (50-70см), реже встречаются маломощные, еще реже - мощные. Буроземы - довольно рыхлые глинистые, реже суглинистые и супесчаные. Они достаточно хорошо обеспечены перегноем, по структуре среднекомковатые, хорошо аэрируемые и проницаемые для воды. Верхние гумусовые горизонты обладают высокой водопрочностью агрегатов. Реакция - слабокислая, с глубиной постепенно переходит в нейтраль-

ную или слабощелочную (при карбонатных почвообразующих породах),либо остается без изменения (при бескарбонатных породах). Признаков оподзоленности нет. По механическому составу в бурых почвах преобладает иловатая фракция, довольно много мелко-пылеватых частиц.

Светло-бурые лесные почвы залегают на верхних частях склонов в условиях интенсивного выветривания и повышенной минерализации органического вещества, а также на нижних третях склонов в условиях повышенной влажности и интенсивного выщелачивания. Формируются они на кислых глинистых сланцах, мелкозернистых песчаниках и выщелоченном элювии слабо-карбонатных пород.

Темно-бурые лесные почвы встречаются под сомкнутыми лесами в условиях пологих склонов при повышенном увлажнении воздуха и почвы.

Перегнойно-карбонатные почвы формируются на карбонатных глинистых сланцах и песчаниках, на мергелях и мергелистых сланцах. Имея небольшую мощность генетических горизонтов, они более каменисты и щебенисты.

Аллювиальные почвы - образуются на пойменных террасах небольших горных рек и ручьев в виде узких прерывистых полос. Пойменные участки обычно заняты посадками лесных культур или полянами с разнотравной растительностью. Подстилающие породы - галечниковые отложения.

Делювиальные почвы - формируются у подножий склонов, на пологих шлейфах и по днищам балок в результате смыва почв со склонов и переотложения смытой массы на нижних элементах рельефа. Для них характерна неоднородность механического состава, наличие каменистости, слабая дифференциация на горизонты, различное содержание гумуса, большая мощность профиля.

Маломощные почвы крутых склонов встречаются небольшой площадью на обрывистых склонах под изреженной растительностью. Обычно формируются в комплексе с обнажениями горных пород. Характеризуются мощностью 20-30 см, сильной скелетностью и повышенной

сухостью профиля.

Обнажения и осыпи - приурочены к обрывистым нижним частям склонов. Представлены чередующимися пластами мелкозернистого карбонатного или ожелезненного песчаника с мергелистыми или глинистыми сланцами.

По лесорастительному районированию бассейн р.Мзымты относится к Сочи-Адлерскому району буково-каштановых лесов колхидского типа. Вертикальная зональность делит весь район на ряд поясов:

а) нижнегорный пояс дубово-грабовых лесов - от моря до 400 м над ур.м.;

б) среднегорный пояс буково-каштановых лесов - от 400 до 800-900 м над ур.м.;

б) верхнегорный пояс буковых и пихтовых лесов - от 900 до 1800-1900 м над ур.м.

Основными лесообразующими породами являются бук, дуб, каштан, пихта, граб, ольха. Значительно реже встречаются ясень, осина, самшит, клен, ильм, тополь. В лесу много также плодовых, ягодных и орехоплодных деревьев и кустарников. Наибольшее распространение имеют древостой с преобладанием бука (54,5%), второе место принадлежит пихтарникам (16,1%), затем идут каштанники (10,6%), дубравы (8,7%) и грабинники (4,7%).

Дубовые леса занимают сухие теплые южные склоны от берега моря до 600-700м над ур.м. На западных и северо-западных склонах преобладает каштан. Выше господство переходит к буку, который на склонах южной экспозиции доходит до верхней границы леса. Северные склоны от 100 до 1000 м. большей частью заняты букняками. Затем они переходят в смешанные пихтово-буковые насаждения, которые с 1200 м становятся чисто пихтовыми. Грабовники встречаются на склонах всех экспозиций до 1200-1400 м. В основном они являются производными, где граб получил господство после вырубки дуба, каштана или бука. Ольха обычно встречается в долинах рек, однако часто заходит и на водоразделы.

Анализ типов леса для основной лесообразующей породы - бу-

ка показывает, что в рассматриваемом районе встречаются букняки колхидские, разнотравно-ежевиковые, папоротниковые, трахистемоновые, овсяницевые, азалиево-черничные и с вечнозеленым подлеском. Букняки колхидские занимают теневые склоны до 30-35° крутизной. Встречаются от уровня моря до высоты 1200 м на карбонатных и бескарбонатных породах. Почвы достаточно глубокие, свежие, глинистые бурые лесные. Древостой высокой производительности с преобладанием бука, разновозрастный, в примеси клены, каштан, черешня, ольха, граб. В подлеске редко представлены лещина, бузина, шиповник, крушина. Травяной покров редкий - трахистемон, папоротники, плющ, ежевика и другие виды.

Букняки разнотравно-ежевиковые занимают склоны различной крутизны и всех экспозиций. Древостой преимущественно чистые. К буку примешиваются граб, явор, ильм,липа, пихта. Насаждения I-II бонитета с запасом 500-660 м^3/га. В подлеске встречается бузина, падуб, лещина. Травяной покров представлен ежевикой, окопником крупноцветным и другими видами.

Букняки трахистемоновые характеризуются высокой производительностью, занимают затененные склоны крутизной 10-15°, иногда 30°. Встречаются от 100 до 1200 м над ур.м.

Букняки овсяницевые приурочены к вершинам хребтов и хорошо освещенный крутым склонам южных экспозиций. Древостои средней производительности. В примеси граб, клен. В подлеске встречается черника кавказская, азалия. Травяной покров представлен овсяницей горной.

Букняки азалиево-черничные занимают вершины хребтов. Подлесок состоит из густых зарослей азалии, черники. Травяной покров редкий.

Букняки с вечнозеленым подлеском приурочены к северным склонам и затененным склонам ущелий. Древостой средней и высокой производительности. В примеси - граб, каштан, липа, клен, пихта. Подлесок сильно развит - к лавровишне примешаны азалия, падуб, черника кавказская. Травяной покров редкий - из ясменника душистого, папорот-

ника женского, ежевики.

Климатическая характеристика района исследований может быть дана на основе результатов наблюдений метеорологической станции Красная Поляна, расположенной на высоте 564 м над ур.м. и гидрометпоста Кепша, находящегося на высоте 194 м над ур.м. Среднегодовая температура воздуха здесь положительная (9,8°), зима теплая. Однако в отдельные годы абсолютный минимум температуры воздуха опускается до -28°. Продолжительность периода со снежным покровом в среднем около 80 дней, а средняя высота снега 71 см. Лето жаркое, влажное. Среднемесячная температура августа 19,4°, максимальная температура воздуха 38°.Годовое количество осадков весьма значительно (1700-1900 мм). В течение года осадки распределяются достаточно равномерно – 47% годовой суммы приходится на холодный период, остальные 53% на весну и лето. Однако характер осадков, выпадающих в разные сезоны года, существенно различен. Так, если в холодное время года обычно выпадают обложные и моросящие осадки, имеющие сравнительно небольшую интенсивность, то весной и летом преобладают ливни, которые дают большее количество осадков при меньшей продолжительности и площади распространения. Характер осадков оказывает влияние на режим влажности почв и режим рек.

Среднедекадная относительная влажность воздуха в течение вегетационного периода колеблется в пределах 59-65%. Число дней с относительной влажностью в 13 часов > 80% за вегетацию равно 38. Влагообеспеченность периода вегетации избыточная - гидротермальный коэффициент (по Г.Т.Селянинову, 1961) превышает 2,2.

В силу того, что ливневые осадки в районе Большого Сочи имеют обычно большие интенсивности, а количество их за ливень достигает иногда 120-130 мм, возникает потенциальная опасность эрозионных процессов на крутых и очень крутых склонах гор.

5.1.2. Подбор и описание экспериментальных участков

Трудности создания надежной боковой изоляции при глубоком залегании водоупора или при грунтах, насыщенных крупнообломочным материалом и подстеленных трещиноватой скалой, а также преобладание больших уклонов заставили **отказаться от применения малой дождевальной установки**, требующей изоляции площадки до водоупора. На горных склонах оказалось пригодным **дождевание больших участков** без боковой изоляции.

Кроме того, для изучения **поверхностного впитывания** применялось послойное определение впитывания при помощи **инфильтрометров**. Следует отметить, что после опускания фильтрационной колонны до нижней кромки инфильтрационного кольца вода в рыхлой лесной почве начинает стремительно растекаться в стороны. Поэтому реальное впитывание получается лишь в интервале времени опускания воды на глубину забивки кольца. Чтобы получить общую инфильтрационную кривую, потребовалась установка инфильтрометров на разных горизонтах по высоте почвенного профиля.

В некоторых случаях, для выяснения общей картины условий формирования стока применялись напуск воды на склони определение скорости движения контактного стока методом шурфования.

Всего было проведено 80 опытов на 4 склонах и 13 ручьях. В таблицах приводятся основные сведения о проведенных экспериментах. Распределение опытов по участкам неодинаково, что объясняется условиями постановки опытов. При постановке опытов на склонах III и IV пришлось ограничиться только установкой инфильтрометров в связи с отсутствием на склоне достаточного для дождевания количества воды. В тех случаях, когда источник воды находился вблизи от выбранного для работы склона, на нем производились как эксперименты по дождеванию участков склонов, так и определение впитывания инфильтрометрами (склоны 1-а, II).

Последовательность нумерации склонов, участков и площадок соблюдалась в соответствии с хронологией проведенных опытов. Ниже дана общая характеристика склонов с экспериментами.

Склон I

Склон I находится на правом берегу р.Чвежипсе в ее нижнем течении (в 2-3 км от устья) и имеет восточную экспозицию. Южная часть, ближе к устью, очень крутая (50-60°), к северу становится более отлогой. Склон сильно расчленен руслами ручьев.

Участок I, на котором был поставлен только один опыт с искусственным дождеванием части склона (площадка 1), имеет большую крутизну и осыпной характер. Крупно-обломочный каменистый материал лежит на трещиноватой скале. Осыпь промыта, имеет большую мощность. У подошвы склона проходит полоса иловатых отложений. Илистый грунт на глубине около 30 см подстилается скелетным аллювием. На поверхности иловатых отложений перед опытом стояла вода от выпавшего накануне дождя. Дождевание участка склона показало, что поверхностный сток на этом участке не формируется, а склоновый сток проходит под иловатым грунтом, не выклиниваясь на поверхность.

Склон I-а также расположен по правому склону долины р.Чвежипсе, в ее нижнем течении в 6 км от устья и имеет восточную и северо-восточную экспозицию. Склон расчленен рядом ручьев. Крутизна склона меняется от 40° в нижней части до 25-20° в средней. Склон покрыт лесом, преобладающие насаждения буковые, I-II бонитета. В составе бук, каштан, граб, единично встречается берест, черная ольха. Подрост средней густоты, групповой. Тип леса - букняк колхидский. Полнота насаждения 0,7, запас около 340 $м^3$/га. Растительный покров представлен трахистемоном, ежевикой, папоротниками, рододендроном (групповым). Почва бурая, лесная, суглинистая со щебнем. Морфологическая характеристика профиля почв на склоне представлена почвенными разрезами I и 2, приведенными в таблицах. На склоне выбраны два участка - участок 2, где проводились опыты с искусственным дождеванием, и участок 2а-для опытов с инфильтрометрами.

Участок 2 расположен в нижней части склона, покрыт разновозрастным буковым насаждением с примесью каштана и граба. С севера и юга участок ограничен постоянными водотоками (ручьями). Ручей проходит также у подошвы склона. Нижняя часть участка крутая, верхняя

более пологая. Почва бурая лесная. Гумусовый горизонт очень рыхлый, скелетно-глинистый, на верхней границе участка обогащен мелкозернистыми фракциями, внизу - с преобладанием скелетного материала, преимущественно щебня и дресвы. Лесная подстилка полуразложившаяся, незначительная у подошвы склона и мощная (до 3-4 см) в верхней части участка. На участке 2 заложены две площадки для искусственного дождевания - 2 и 5.

Площадка 2 заложена в северной части участка 2, на крутой нижней части склона и только верхняя ее часть имеет более пологий уклон. Площадка имеет форму слабо выраженного амфитеатра. С севера ограничена четко выделенным водоразделом. Древостой с преобладанием бука, каштана, граба средней производительности. В подросте бук средней густоты, травяной покров изреженный. Водослив для измерения стока с площадки установлен в русле естественного ручья, базисный сток которого замерен перед началом опыта. Через день после произведенного дождевания на площадке 2 были поставлены два опыта по определению скорости горизонтального промачивания методом шурфования (опыты 15ш и 16ш).

Площадка 5 расположена в 30-40 м южнее площадки 2. Имеет почти прямоугольную форму и представляет собой слабо выраженную склоновую лощину, густо поросшую лесом (граб, бук). Почвенный покров отличается от площадки 2 большим содержанием скелетного материала и неглубоким залеганием плотных подстилающих пород, местами выходящих на поверхность. Водослив установлен у подножья склона, в прорытой канавке, расположенной несколько выше естественного ручейка.

Участок 2а расположен над участком 2, выше площадки 2. Представляет собой плоский водораздел (около 50 м) между двумя эрозионными врезами. Участок занят разновозрастным буковым древостоем средней производительности. Почва бурая, лесная с очень слабой дифференциацией по горизонтам. Подстилка незначительная, до 2 см слоя. Мощность гумусового горизонта 5-10 см. Верхний 30-40 см слой почва насыщен корнями бука. Скелетность до глубины 50-60 см, незначительная. На участке заложено 5 площадок инфильтрометров, на кото-

рых поставлено 8 опытов.

Площадка 3 расположена среди группы подроста бука. Расстояние до ближайших материнских деревьев 5 м. Кольцо устанавливалось на поверхности почвы, структура не нарушалась. После опыта раскопка показала умеренное боковое растекание.

Площадка 4 расположена в 5 м от площадки.3 на 2-3м выше по склону. Перед забивкой инфилътрометра снят грунт (основная корнеобитаемая зона) до глубины 44 см. Дальнейшее снятие грунта после окончания опыта показало, что на глубине 55 см от поверхности почвы имеются значительные включения камней и гальки. Перед повторным опытом на площадке (опыт 12-з) снят слой до глубины 67 см. Инфильтрометр забит до горизонта обогащенного щебнем. Перед 3 опытом (14-з) слой грунта снят до 85 см поверхности, нижняя граница кольца находилась на глубине 95 см.

Площадка 6 расположена в 4 м от площадки 3 вниз по склону. Структура не нарушена.

Площадка 7 расположена в 5 м вниз по склону от площадки 4. Перед забивкой кольца грунт снят слоем в 44 см (основная корнеобитаемая зона - 40 см). Раскопка не показала значительного бокового растекания (это видимо связано с наличием лежащего глубже щебеночного горизонта). При повторном опыте на площадке (13-з) снят слой грунта от поверхности до глубины 57 см.

Площадка 8 расположена в 8 м от площадки 4 вверх по склону. Структура грунта при забивке кольца не нарушена. Забито кольцо на глубину 26 см.

Склон II

Склон расположен на левобережной части долины р. Чвежипсе в 3,5-3 км от ее устья, покрыт лесом, экспозиция юго-западная, характеризуется чередованием участков с рыхлым мощным слоем почвы и выходами скальных пород, покрытых незначительным почвенным слоем. Высота склона 150-180 м. Крутизна - значительна в нижней части (40-50°), и уменьшается до 25-30° в верхней части. Склон круто падает у поймы р.Чвежипсе, ширина которой по левому берегу не превышает в

этом месте 20-30м. У подошвы его проходит дорога, образовавшая ряд обнажений.

В составе насаждения - бук, граб, каштан, единично клен, ольха. Бонитет II-III, полнота 0,4. В подросте бук, граб, каштан, клен. Подлесок представлен азалией и лещиной. Напочвенный покров из трахистемона, овсяницы, ежевики. Почвы свежие, бурые лесные, суглинистые, щебенистые, на глинистых сланцах. Дождевание проводилось на участках 3,5 - 10, расположенных в нижней части склона. Водосборные лотки были установлены у подошвы обнажения высотой 3 м. Учет стока суммарный.

Участок 5 расположен в 40 м от участка 3, выше по течению р.Чвежипсе. Здесь заложены рядом две площадки: 13 и выше ее по течению площадка 15.Площадка 13 заложена в буковом насаждении с примесью граба, каштана. Подрост средней густоты из бука, граба. В подлеске единично лещина. Форма площадки - прямоугольная, в центре слабо выраженный тальвег. Почвенный покров здесь представлен типичными бурыми лесными почвами на мергелях, сланцах и песчаниках. Чередование подстилающих пород различной мощности создает своеобразный характер флиша. Геологические структуры простираются в направлении, обратном уклону склона (юго-восток). В нижнем краю площадки находится обрыв высотой 3-4 м. Сбор стока осуществлялся в канаве, расположенной у его подножья.

Площадка 15 расположена рядом с площадкой 13 и характеризуется теми же геологическими условиями. Травяной покров и подлесок развиты слабее. На поверхности площадки много мха. Почвенный покров маломощный (не более 15-20см), покрыт небольшим слоем подстилки и пронизан мощной корневой системой деревьев. Форма площадки - неравносторонний слабо затянутый ромб. Водосборная канавка заложена у подножья склона.

Участок 6 лежит ниже по течению р.Чвежипсе в 10 м от участка 3. Здесь заложена одна площадка 19, которая имеет вид четырехугольника, причем ширина склона в поперечном направлении несколько больше длины по уклону. Древостой с преобладанием граба, бука. По-

верхность площадки неровная, бугристая. Почвенный покров незначительный (10-15 см), покрыт слоем подстилки и мха (3-5см). Травяной покров из ежевики - в нижней части густой.

Участок 7 расположен рядом с участком 6 ниже по течению р.Чвежипсе, представляя собой также припойменную часть долины, покрытую осыпями, мелко-щебнистым слоем почвы. Отделен от участка 6 небольшим понижением. Местами на участке выклиниваются подстилающие породы- сланцы, причем верхние пласты выклиниваются в районе площадки 19 и даже за ее пределами, проходя под ней. Крутизна склона около 25°. Склон покрыт разновозрастным буковым насаждением с примесью граба и каштана. Древостой пройден выборочной рубкой. На участке заложены площадки 23 и 28 для искусственного дождевания. Здесь же на площадках 40 и 42 проводились опыты с определением впитывания при помощи инфильтрометров (4 опыта).

Площадка 23 расположена на расстоянии 15 м от площадки 19 и отделена от нее неглубокой лощиной. Древостой аналогичного состава. Отмечено интенсивное возобновление бука и граба. Травяной покров слабо развит. Почвы маломощные (10-15 см). В нижней границе площадки обнажаются скальные породы-мергели, сланцы, песчаники с ясно выраженной слоистостью, направленной в сторону противоположную общему уклону. Сток собирался водосборной канавкой, расположенной у подножья обрыва обнажения, ниже верхнего края площадки на 2,5-3 м.

Площадка 28 расположена в 20 м от площадки 23 вниз по течению р.Чвежипсе и также занимает нижнюю часть склона. По рельефу это слабо выраженная ложбина с тальвегом по центру площадки. Почва рыхлая, довольно мощная. В нижней части площадки, обрывающейся небольшим (1,0-1,5 м) уступом к дороге мощность почвенного слоя составляет 40 см и более. Выше площадки до водораздела склон носит тот же характер. Древесная растительность представлена пройденным выборочной рубкой древостоем с преобладанием бука, граба. Бонитет II-III. Почвы довольно мощные бурые лесные, с хорошей структурой. По склону следы поверхностного перемежающегося стока. Уклон склона

выше площадки почти не изменяется и только на границе с верхней третью склона становится более пологим. Площадка 28 является характерным участком для целой полосы склона от водораздела до реки.

Кроме перечисленных опытов на участке 7 устанавливали инфильтрометры (пл.40 и 42), располагавшиеся примерно по середине между площадками 28 и 41 (участок 10) .

Площадка 40 заложена под пологом насаждения (буково-грабового). Почвы намывные, темно-бурые. Первый опыт проведен при ненарушенной структуре. При повторном опыте снят слой почвы мощностью 63 см. До глубины 30 см имеется наличие ходов корней, включение хрящей незначительное. Нижняя граница инфильтрометра находится на 89 см от поверхности почвы, но такая глубина установки прибора, судя по результатам опыта, была недостаточной - началось значительное растекание.

Площадка 42. Почва на площадке темно-бурая лесная с включением щебенистых материалов (мергелистые сланцы). В первом опыте заливался монолит с ненарушенной структурой. Перед повторным опытом (80-з) почвенный слой снят до глубины в 52 см. Нижняя граница инфильтрометра находилась в 74 см от поверхности. Опыт характеризует инфильтрационную способность верхнего рыхлого слоя почвы, но не дает глубинную инфильтрацию (под нижней кромкой кольца вода растекалась).

Участок 8 расположен на 150-170 м ниже по течению р.Чвежипсе от участка 7. Так же как и другие участки этого склона, характеризуется слоистым залеганием подстилающих скальных пород. Почвы незначительной мощности, покрыты мхом. Особенно густой покров из мха отмечен в нижней обрывистой части склона. Скальные обнажения выходят по всей нижней части участка.

Площадки 31 и 35- идентичны по характеру и микрорельефу. Поверхность бугристая, уступами опускается к нижней части склона. Уступы покрыты слоем мха толщиной 2-3 см и толстым слоем опавших листьев. Выше - густой подрост, покрывающий всю площадку. Почвенный слой у края обнажения невелик, к верху площадки несколько увели-

чивается. На площадке широко представлены подлесочные породы (падуб) и подрост из бука и граба. Площадка подстилается в левой части трещиноватой скалой. Пласты залегают с уклоном в 70-75°. Крутизна площадок неравномерная и увеличивается книзу. Сбор воды осуществлялся в канавке, заложенной у нижнего обрывистого края площадок. Проводились измерения трещинного стока.

Участок 9 расположен в 20-15 м от участка 8, ниже по течению р.Чвежипсе. На участке маломощный почвенный покров, многочисленные выходы подстилающих скальных пород.

Площадка 39 расположена в нижней части склона. Нижняя ее граница круто обрываемся к дороге, заканчиваясь естественным обнажением высотой 2,5-3 м. Уклон склона значителен. На площадке разновозрастный буковый лес, почти лишенный подлеска. Почвы маломощные. На большей части площадки дернина отсутствует, оголенные скальные участки покрыты мхом. Подстилающие мергелистые сланцы сильно трещиноватые. Пласты их наклонены к тальвегу площадки под углом 15-20°.

Участок 10 расположен между участками 7 и 8, ближе к участку 7 (примерно на расстоянии 30 м от него вниз по течению р.Чвежипсе). Покрыт разновозрастным буковым древостоем с примесью граба, клена. Почвы бурые лесные,среднемощные. На участке заложена одна площадка 41.

Площадка 41 имеет довольно равномерный почвенный покров, выходов скальных пород нет. Лесная подстилка небольшой мощности. Травяной покров развит слабо. Сток с площадки зафиксирован очень слабый: очевидно основная масса воды уходила в осыпь и далее в речной аллювий. В связи с отсутствием обнажений измерить сток не удалось.

Склон III

Склон восточной экспозиции находится на правом берегу р.Чвежипсе в 34 квартале б. Кепшинского лесничества. Рельеф в виде террас, перемежающихся с крутыми участками. Склон прорезан не-

сколькими параллельными ручьями, протекающими по оврагам глубиной до 10 м. В составе насаждения преобладают каштан, бук, граб, реже встречаются берест, клены. Подрост средней густоты. В подлеске лещина, лавровишня (единично). Травяной покров средней густоты (трахистемон, ежевика, плющ, папоротник). Бонитет насаждений I-II, полнота 0,7. Почвы бурые лесные, тяжелосуглинистые, слабоскелетные на известняках или глинистых сланцах.

На склоне выбран для работ один **участок 4**.Участок 4 расположен на правом берегу р.Чвежипсе (склон III) в приводораздельной части одного из ручьев,протекающих по склону. Крутизна склона около 15 . Участок занят буковым древостоем колхидского типа. В подлеске лещина, в подросте бук, каштан. Участок пройден выборочной рубкой. На участке заложено 6 площадок для проведения опытов с инфильтрометрами. Всего поставлено 10 опытов.

Площадка 10 находится вблизи водораздела. Почва бурая лесная, тяжелосуглинистая. Верхний горизонт почвы (до 30 см) пронизан средними и мелкими корнями. На поверхности незначительный слой подстилки (1 см). В опыте нижняя граница кольца от поверхности почвы находилась на глубине 28,5см. При повторном опыте (21-з) снят слой почвы мощностью в 48 см. С глубины 25 см и ниже почвогрунты представляют собой измельченные хорошо промытые известняки.

Площадка 11 расположена в 15 м ниже по склону от площадки 10. Структура не нарушена. Кольцо забито на глубину 23 см от поверхности. Почва бурая лесная. Скелетность слабая. Корнеобитаемый слой распространен до глубины около 30 см. Перед повторным опытом на площадке (23-е) снят слой почвы мощностью 49 см.

Площадка 12 расположена на водоразделе двух ручьев, под пологом букового древостоя. Подрост редкий, крупный. Ближайшие взрослые деревья находятся в 5 м от площадки. Подстилка средней мощности (до 2 см), книзу полуразложившаяся. Почва бурая лесная. На площадке поставлено 2 опыта с инфильтрометрами при естественном состоянии почвенного покрова и при снятом 59-см верхнем слое.

Площадка 14 расположена на 13 м выше площадки 12, в густом

буковом подросте. Почва бурая лесная. На площадке поставлено 2 опыта по определению впитывания - при естественном состоянии поверхности почвы и при снятии верхнего слоя до 42,5 см.

Площадка 16 находится на расстоянии 4-8 м от деревьев основного полога среди молодого подроста, в 8 м выше площадки 14. Крутизна площадки около 18°. Почва в верхних горизонтах светло-бурая, гумусовый горизонт имеет мощность 18-20 см. Почвенный профиль пронизан корнями. На площадке поставлен один опыт при ненарушенной структуре.

Площадка 17 расположена в 8 м от деревьев материнского насаждения среди молодого подроста, в 8 м выше площадки 14. Крутизна - 18°, подстилка почти сплошного покрытия. Почва светло-бурая, тяжелосуглинистая, на мягком глинистом сланце, слабопроницаемая с глубины 50-60 см. На площадке поставлен 1 опыт при естественной поверхности.

Склон IV

Располагается склон на левом берегу р.Бешенки - правого притока реки Мзымты в 1,5-2,0 км выше от его впадения. Экспозиция склона южная, средняя крутизна 12°. Склон представляет собой несколько широких террас, уклон которых уменьшается к реке.

Нижняя половина склона занята молодым яблоневым и сливовым садом. Верхняя его часть распахана и занята посадками картофеля и кукурузы. В яблоневом саду площадь между деревьями засеяна многолетним люпином, весьма эффективно защищающим почву от воздействия ливней. Почва под сельхозугодиями сильно щебенистая, подвергается воздействию интенсивных эрозионных процессов. С севера и востока склон ограничен смежными участками леса, а с юга - р.Бешенкой.

На склоне IV была проведена инфильтрационная съемка по двум параллельным профилям. При этом опыты проводились на 3-х участках: участок 11 - яблоневый сад; участок 12 - сельхозугодия; участок 13 - смежные со склоном буковые насаждения.

Участок 11 расположен на левом берегу р.Бешенки в молодом

яблоневом саду. Экспозиция участка южная, крутизна около 12°. Пространство между деревьями занято густым и высоким растительным покровом - люпином. Почва темно-бурая, структурная, по всему профилю хрящеватая, периодически распахивается. Включение крупнообломочных материалов с глубиной увеличивается. На участке заложено 3 площадки и проведено 4 опыта способом залива инфильтрометров.

Площадка 18 находится в 300 м от р.Бешенки. Уклон площадки 12°. Ближайшие яблоневые деревья расположены в радиусе 2,5-3 м. Травяной покров на площадке при постановке опыта 35-з с поверхности почвы срезан.

Площадка 20 (она же и 18, опыт 35-з). Снят слой почвы до глубины 44 см. Глубже 40 см - значительные включения крупнообломочного материала (песчаник, известняк). На площадке поставлен опыт при снятом на 46 см верхнем почвенном слое.

Площадка 21 расположена в 5 м от площадки 18. Уклон 12°. Ближайшие яблоневые деревья находятся в радиусе 2,5-3 м. Травяной покров на площадке срезан. С глубины 40 см и ниже большое содержание крупного и мелкого щебня (известняк, песчаник). На площадке поставлено 2 опыта - при естественной поверхности и удаленном поверхностной слое, при этом в повторном опыте снят слой почвы 46 см.

Участок 12 расположен на склоне южной экспозиции на распаханном и занятом кукурузой и картофелем поле. Крутизна склона в пределах участка - 12-15°. Почва щебенистая, уплотненная, тяжелосуглинистая, на сильно скелетной глине. Поверхность почвы эродирована. Отмечается характерное разрушение почвенных агрегатов ливневыми осадками, в результате чего поверхность почвы покрыта мелкой щебенкой. Морфологическая характеристика профиля почвы на участке приводится в описании разреза № 5 .**На участке 12** заложено 9 площадок и проведано 13 опытов с заливом инфильтрометров.

Площадка 22 находятся в 150 м от площадок 18-21 (в 220 м от р.Бешенки), в 2-х м от начала картофельного поля. Почва на площадке сильно уплотнена под воздействием естественной усадки и проходов сельхозмашин. Щебенистость значительная, поверхность слегка задер-

нована. На площадке поставлен 1 опыт при естественном сложении.

Площадка 24 заложена на распаханном кукурузном поле, в 10 м от стены леса. Уклон около 15°. Почва щебенистая, на глубине около 40 см отмечены прослойки глин с включением мелкообломочного материала. На площадке поставлен 1 опыт.

Площадка 26 (она же 24). Верхний почвенный слой снят до 47 см. Почва разрыхлена до 30-35 см, глубже - подстилающие глинистые щебенистые горизонты. Поставлено 2 опыта (50-з и 53-з) при снятом 47 см слое почвы. Второй опыт проведен через 2 часа после окончания первого.

Площадка 27 находится в верхней части склона, занятой под посадки картофеля, в 30 м от кромки леса. Почва распахана здесь до глубины 40 см, сверху хорошо промыта, щебенистая. Хрящеватость с глубиной уменьшается. Наиболее крупные камни на поверхности почвы с площадки убраны. На площадке проведено 3 опыта для определения фильтрации в поверхностном слое почвы. Однако все они дали очень большое растекание.

Площадка 32 расположена на кукурузном поле в средней части склона. Почва темно-бурая, с включением по всему профилю мелких и крупных камней. Ниже 40 см слоя - глинистый горизонт, почва распахана (поперек склона). Верхний слой сильно эродирован. Перед опытами почва хорошо увлажнена прошедшим дождем. Опыты поставлены при ненарушенном почвенном слое и со снятием поверхностного горизонта до глубины 41 см.

Площадка 33 находится у нижнего края картофельного поля. Почва темно-бурая, распахана до глубины 20-30 см. Опыт поставлен на поверхности почвы.

Площадка 34 выбрана на картофельном поле. Верхний горизонт почвы распахан до глубины 25 см, имеет включения мелкого щебня. В опыте верхний пахотный слой был снят до глубины 25 см.

Площадка 36 (она же 33). Опыт 67-э заложен на площадке, где накануне был проведен опыт 64-з.

Участок 13 представляет собой полосу леса, окаймляющую по

периметру поляну, используемую под сельхозугодья. Опыты с инфильтрометрами были заложены здесь для сравнения фильтрационных свойств почв под буковыми насаждениями с впитыванием на раскорчеванных и закультивированных площадках. Экспозиция склона юго-западная, уклон различный от 10 до 30°. Насаждения пройдены выборочной рубкой. Тип леса - букняк колхидский, в примеси каштан, граб, единично дуб. Подрост редкий. Почва бурая лесная, среднемощная. Подстилающие породы глинистые сланцы. На участке выбрано 5 площадок, на которых поставлено 10 опытов способом залива инфильтрометров.

Площадка 25 расположена на крутом (до 30°) склоне, занятом лесом. Расстояние от кромки леса до площадки около 20 м, древостой - бук с примесью каштана, граба, ильма. Почва бурая лесная, гумусовый горизонт невелик (до 10 см). Верхний корнеобитаемый слой распространен до глубины 40 см.

На площадке проведено 3 опыта, один из которых (44-з) забракован. Остальные два поставлены при снятом 50-см слое почвы с интервалом времени между ними 80 мин.

Площадка 29 расположена в верхней юго-юго-восточной части склона, в 20 м от стены леса. Средняя крутизна около 12°. древостой буковый с примесью граба и каштана. Расстояние до ближайших деревьев 5-7 м. Травяной покров - ежевика, трахистемон, папоротник. Почва темно-бурая лесная, в верхней части сильно скелетная (мергели, песчаники). Книзу скелетность уменьшается. Основной корнеобитаемый слой 30-35 см.

Площадка 30 находится под кронами деревьев в 30 м от опушки. Уклон на площадке 12°. Почва бурая лесная. Профиль включает в себя чередующиеся слои трещиноватых пород - до глубины 20 см мелкий щебень, с глубины 35 см и более крупнообломочный материал (мергелистые сланцы и песчаники). На площадке заложен 1 опыт с инфильтрометром, продолжительность которого оказалась недостаточной из-за нехватки воды.

Площадка 37 расположена в нижней части склона, в 75 м от

картофельного поля и в 50 м от русла р.Бешенки. Подстилка на поверхности почвы мощная (3-5 см). Гумусовый горизонт 15-20 см, с включением щебенки. Ниже располагаются рыхлые, очень щебенистые горизонты. Много корней по всему профилю. На площадке поставлено 3.

Площадка 38 находится в 25 м от площадки 37 под пологом леса. Расстояние от площадки до ближайших крупных деревьев около 10 м. Площадка аналогична предыдущей. Опыты поставлены при естественной поверхности почвы.

5.1.3. Результаты опытов и их оценка
Склон I

На склоне работа проводилась на трех участках (табл. 17). **Участок 1** имеет осыпной характер, причем осыпь промыта и имеет большую мощность. У подошвы склона она сопрягается со скелетным аллювием.

Таблица 17 - Основные сведения о проведенных экспериментах

№ № опытов	Дата опытов	Время, час.мин.		№ площадки	Площадь, $м^2$	Уклон	Номер		Характер опыта
		начала опыта	конца опыта				Склона	Участка	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	30.VI	12.24	13.26.	I			I	I	дождевание
2	1.VII	10.50	14.30.	2	206	0,552	I-а	2	дождевание
3	2.VII	8.50	11.40.	2	206	0,552	I-а	2	дождевание.
4-3		10.55	11. 34	3			I-а	2-а	залив
5-3		12.06	12.44	4			I-а	2-а	залив
6		12.21	24.01.	2	206	0,552	I-а	2	дождевание
7		14.00	15.24.	5	47,5.	0,770	I-а	2	дождевание
8-3		14.05	14.35.	6			I-а	2-а	залив
9-3		14.40	15.46.	7			I-а	2-а	залив
10		15.30	16.21.	5	47,5	0,770	I-а	2	дождевание
II-з	3. VII	9.45	11.19. 1	8			I-а	2-а	залив
12-з		10.26	10.46	4			I-а	2-а	залив
13-3	3. VII	11.45	12.28.	7			I-а	2-а	залив

14-з		12.55	13.24.	4			I-а	2-а	залив
15-ш	4. VII	9.10	10.17.	2			I-а	2	шурфова-ние
16-ш		11.10	11.55.	2			I-а	2	шурфова-ние

Продолжение табл.17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	5. VII	11.32	14.02	9	280	0,576	П	3	дождевание
18-3		12.40	13.55	10			III	4	залив
19-3		13.25.	13. 48	11			I	4	залив
20	8. VII	8.45	11.05	9	280	0,576	II	3	дождевание
21-з		9.50	11. 40	10			III	4	залив
22		11. 15	19. 25	9	280	0,576	II	3	дождевание
23-з		11.30	12.03	11			III	4	залив
24-з		13.50	14.30	12			III	4	залив
25	10. VII	9.05	12.25	13	191	0,834	II	5	дождевание
26-з		10.50	11.50	14			III	4	залив
27-з	10. VII	12.15	13.19	12			III	4	залив
28		13.06	16.19	13	191	0,834	II	5	дождевание
29-з		13.40	14.40	14			III	4	залив
30	11. VII	9.00	11.56	15	274	0,700	II	5	дождевание
31-з		10.15	11.12	16			III	4	залив
32-з		11.45	12.14	17			III	4	залив
33	I2. VII	9.05	12.00	15	274	0,700	II	5	дождевание
34		13.30	16.17	15	274	0,700	II	5	дождевание
35-з	13. VII	13.15	14.42	18			IV	11	залив
36	14. VII	9.45	11.15	19	211	0,579	II	6	дождевание
37-з		11.00	12.28	20			IV	II	залив
38-з		11.10	12.51	21	17		IV	11	залив
39-з		14.25	15.46	21			IV	11	залив
40-3		14.35	15.53	22			IV	11	залив
42-з		11.30	12.51	24			IV	12	залив
43		11.30	14.00	23	175	0,602	II	7	дождевание
44-з		17.32	17.41	25			IV	13	залив
45-з	16. VII	11.30	12.19	25			IV	13	залив
46-з		11.44	12.09	26			IV	12	залив
47-з		13.24	14.09	26			IV	12	залив
48-з		13.40	14.37	25			IV	13	залив
49	17. VII	9.33	13.30	23	175	0,602	II	7	дождевание

50-з		11.50	12.1	27			IV	12	залив
51		13.06	13,27	19	211	0,579	II	6	дождевание
52		14.04	15.04	28	166	0,240	II	7	дождевание
53-з	17. VII	14.20	14.53	27			IV	12	залив
54-з	18. VII	9.05	9.41	27			IV	12	залив
55-з		10.25	10.43	29			IV	12	залив
56-н		12.15	12.27	28			II	7	добегание
57-н		12.45	12. 52	28			II	7	добегание
58-з		12.55	13.10				IV	13	залив
59	19. VII	забракован			152	0,600	II	8	дождевание
60	20. VII	9.30	12. 37	31	152	0,600	II	8	дождевание
61-з		10.05	11.07				IV	12	залив
62-з		11.55	12.36	32			IV	12	залив
63		12.42	17.42	31	152	0,600	II	8	дождевание
64-з		17. 30	18.31	33			IV	12	залив
65-з		18.00	18.52	34			IV	12	залив

Продолжение табл.17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
66	21. VII	9.30	12.48	35	125	0,725	II	8	дождевание
67-з		9.35	11.00	36			IV	12	залив
68-з		12.15	13.18	37			IV	13	залив
69		12.48	15.33	35	125	0,725	II	8	дождевание
70-3		15.25	16.24	37			IV	13	залив
71-з		9.35	10.39	37			IV	13	залив
72-з		10.10	10.42	38			IV	13	залив
73-з		12.00	12.27	39			IV	13	залив
74	24.VII	10.05	12.05	39	131	0,683	II	9	дождевание
75		12.05	15.15	39	131	0,683	II	9	дождевание
76-з	24.VII	10.45	11.19	40			П	7	залив
77	забракован			41	120	0,240	II	10	дождевание
78-з		12.00	12.55	42			II	7	залив
79-з	25. VII	13.40	14.55	40			II	7	залив
80-з		14.10	15.16	42			II	7	залив

Примечание: нумерация опытов дана общая по времени их начала. Размеры площадок даны в графе 6 в их горизонтальной проекции. Индексы при номерах опытов означают: з - определение впитывания при заливе воды в инфилътрометр, ш - определение добегания методом шурфования, н - опыты с напуском воды на склон.

Место сопряжения перекрыто намытым илистым грунтом, который весьма мало проницаем, настолько, что после предшествующего опыту дождя, на поверхности местами еще стояла вода. При постановке опыта 1 водосборная канавка была проложена ниже поверхности заиленного горизонта с целью перехвата контактного стока. Однако вода поглощалась мощной осыпью и стекала в пойменный аллювий под илистыми отложениями ниже измерительных устройств. Интенсивность поглощения воды осыпью была выше интенсивности подачи воды на площадку (в среднем подача воды была несколько больше 1 мм/мин), вследствие чего поверхностный сток не возник. Из-за невозможности перехвата контактного стока работы на этом участке были прекращены.

Склон 1-а является продолжением склона 1. Здесь работа проводилась на участке 2, где заложены две площадки для искусственного дождевания, и на участке 2а, где устроены 5 площадок для работы с инфильтрометрами.

На участке 2 дождеванию подвергались площадки 2 и 5, несколько отличающиеся по строению поверхностного слоя. Эти площадки были заложены для учета только поверхностного стока. Первоначально предполагалось изучать и контактный сток, измеряя расходы в русле естественного ручья, проходящего вдоль подошвы склона в илистом грунте. Однако контактный сток, как и на склоне I, целиком уходил в аллювий реки, проходя под «висячим» руслом ручья. Фактически склонового поверхностного стока с площадки 2 не было - вода поступала только с отдельных участков (камни, замытые илом микропонижения и т.п.). Это объясняется наличием на площадке 2 мощного рыхлого слоя отложений. Повторные опыты на площадке 2 с искусственными дождями, при значительном увлажнении всего склона предшествующим естественным дождем, не дали заметного сокращения впитывания, которое оставалось на уровне 0,9 мм/мин.

Это объясняется выборочным характером поверхностного стока - большая часть площадки имела инфильтрационную способность, которая не восполнялась даже повторными дождями, по более влажной

почве. Насыщение же последней, возможное при обильных дождях, в условиях опыта, понятно, не достигалось. На площадке 2, через день после дождевания были поставлены опыты по определению скорости горизонтального просачивания при помощи шурфования (опыты 15-ш и 16-ш).

Опыт 15-ш проводился при расстоянии между шурфами 2,2 м и глубинах шурфов 50 см верхнего и 115 см нижнего. Уклон поверхности участка составлял 0,600. Шурфы не были доведены до водоупора. Разрез в нижнем шурфе характеризуется небольшим гумусовым горизонтом (20 см от поверхности), затем слой 21-40 см густо пронизан корнями, ниже 40 см идет слой щебенки размерами в среднем 10х15 мм. Углубить шурф в щебенку ниже 115 см не удалось. При постановке опыта 15-ш в было подано в течение часа 2980 л воды со средней интенсивностыо 49,7 л/мин., поддерживающей постоянный напор в верхнем шурфе. Наполнение шурфа в начале опыта проходило 5 мин 25 сек. При общей емкости шурфа 210 л в шурф было подано за время наполнения 580 л, т.е. за время наполнения поглощения составило 370 л, а средняя интенсивность - порядка 70 л/мин. К концу опыта, вследствие наполнения емкостей грунта, расход воды на поглощение значительно снизился. После прекращения; подачи вся вода в шурфе поглотилась за 7 мин. 28 сек., т.е. интенсивность поглощения в среднем составила 28 л/мин. Несмотря на большое количество воды, поданной в верхний шурф, выклинивания воды в нижний шурф отмечено не была т.е. вода прошла в слое, расположенном ниже дна шурфа.

При постановке опыта 16-ш между верхним и нижним шурфом опыта 15-ш был выкопан дополнительный шурф на расстоянии 90 см от верхнего при той же глубине 115 см. Выклинивание в нижнем шурфе началось на 7 мин. 30 сек. на ширине 54 см на стенке шурфа. Поглощение воды в шурфе после конца подачи закончилось за 5 мин.35 сек. Выклинивание закончилось за 5 мин.35 сек. после окончания впитывания в шурфе.

Дождевание на площадке 5 было проведено со значительно большей интенсивностью (в отдельные периоды до 3,75 мм/мин.). По-

этому здесь наблюдался более заметный поверхностный сток, но контактный в заметных количествах с этой площадки также не перехватывался. Средний коэффициент стока, одинаковый для обоих опытов, составил 0,42, но интенсивность поверхностного впитывания оказалась очень высокой, что также объясняется большой пористостью скелетного материала.

На участке 2-а проводились работы с инфильтрометрами. Всего было заложено 5 площадок, на которых поставлено 8 опытов. Опыты с инфильтрометрами проводились для получения характеристик впитывания в разных точках склона и на различных глубинах (послойно).

В опытах 8-з (площадка 6) и 11-з (площадка 8) наблюдалось интенсивное боковое растекание, в связи с чем указанные опыты забракованы.

Анализ материалов, полученных на участке 2-а (табл.17) показывает, что величины установившегося впитывания значительно колеблются от площадки к площадке и от одного почвенного слоя к другому. Вместе с тем прослеживается обратная закономерность в изменении характеристик впитывания по глубине. Так, в верхнем слое почвы в опыте 4-з впитывание на 40-й минуте составило 3,53 мм/мин. При снятии почвенного слоя до глубины 40-60 см величины установившегося впитывания в несколько раз сокращаются, как в опыте 5-з, где интенсивность инфильтрации упала до 0,65 мм/мин. Дальнейшее заглубление инфильтрометров до 65-90 см дает резкое возрастание интенсивности впитывания до 8,30-10,6 мм/мин (опыты 12-з и 14-3). Это связано с обилием в горизонтах В и ВС мелкого и крупного скелета - щебня и дресвы. Поры между скелетными частицами заилены в слабой степени. Этот горизонт очевидно и представляет собой тот дренирующий слой, в котором развивается контактный сток по относительному водоупору, лежащему на глубине 1,5-2,0 м.

Результаты, полученные методом инфильтрометров, при сопоставлении с данными дождевания площадок 2 и 5 дают представление о надежности определения характеристик впитывания различными методами. Хорошо согласуются с данными больших площадок характеристи-

ки впитывания, полученные методом залива в опытах 5-з и 13-з, которые поставлены при удаленном верхнем слое на глубину 50-60 см. Действительно, в конце опытов величины фильтрации близки: на площадке 2 в опытах 3 и 6 (0,86- 0,95 мм/мин) и на площадке 4 в опыте 5-з (0,65 мм/мин); в опыте 7 на площадке 5(1,45 мм/мин) и на площадке 7 в опыте 13-з (1,38 мм/мин). Первыми указаны данные по большим площадкам, а вторыми - по инфильтромерам. На площадке 4 опыты 12-з и 14-з), где верхний слой также удален, но на большую глубину, чем на площадках 4 и 7 (соответственно в опытах 5-з и 13-з), характеристики впитывания в конце опытах по инфильтрометрам оказались значительно выше по сравнению с данными площадок 2 и 5. Последнее связано с особенностями строения почвенного профиля на этом участке, о чем говорилось выше - с наличием мощного дренирующего слоя, по которому происходило стекание под прибором во все стороны.

Таким образом, данные инфильтрометров с некоторым приближением характеризуют процесс инфильтрации только в ограниченном отрезке времени - от начала опыта до опускания фильтрующейся воды до нижней кромки прибора, дальнейшие показания опытов преувеличены. Ранее был разработан метод перехода от данных послойных определений инфильтрации к общей кривой впитывания. В этом направлении можно использовать все данные инфильтрометров, хотя для получения надежных обобщений необходимо дальнейшее проведение более массовых опытов, а также исследование впитывающей способности подстилающей породы (при снятом рыхлом слое) и проведение большого числа параллельных опытов по дождеванию для получения надежных редукционных коэффициентов.

Склон II

На этом склоне была поставлена большая часть опытов с искусственным дождеванием. Здесь было намечено 7 участков 3,5-10, на которых заложено 10 площадок и проведено 22 опыта с искусственным дождеванием, 4 опыта с напуском воды на склон и 4 опыта с инфильтрометрами.

На участке 3 проведено дождевание только на площадке 9. В

первом опыте на этой площадке график дождя был задан в виде трех ступеней с повышением интенсивности от 0,78 до 1,17 мм/мин. К началу третьей ступени дождя сток почти установился и составлял в среднем 0,7 мм/мин. Та же картина наблюдалась и в последующих опытах - сток достигал почти постоянного значения довольно быстро, причем величина его возросла примерно до 1 мм/мин. Таким образом, сток с площадки был очень обильным. При этом с ростом увлажнения почво-грунтов возрастал и мгновенный коэффициент стока: в первом опыте он составил 0,65; во втором 0,70; в третьем достиг 0,81. На площадке 9 были отмечены все формы горного стока - подвешенный поверхностный, контактный, поверхностный подпертый и смешанный, возникающий за счет выклинивания контактного по микротальвегам, ложе которого быстро насыщается или обладает малой проницаемостью. Таким образом, на этой площадке, как и на других ей аналогичных, измерялся суммарный сток. Тем не менее визуальные наблюдений проводившиеся во время опыта, со всей очевидностью показали преобладание контактной составляющей стока или в чистое виде, или в сочетании с подпертым стоком, т.е. дренажным, переходящим в поверхностный в слое насыщенного грунта, главным образом по микротальвегам. Представление о доле подвешенного поверхностного стока дает сопоставление данных о стоке с площадок, где регистрировалось только поверхностное стекание (как на склоне I). Судя по полученным данным, доля подпертого подвешенного стока на площадке 9 составляла около 25-30%, на других площадках она могла быть и меньше. Эти цифры относятся к дождям с интенсивностью несколько более 1 мм/мин, при влажной почве, при очень высоких интенсивностях ливня (свыше 3 мм/мин), как показывают данные по площадке 5, доля поверхностного стока может возрасти примерно до 40%. Огромная же масса дождей с интенсивностью до 0,5 мм/мин, в лесу подвешенного поверхностного стока, видимо, вообще не образует (если не говорить о выборочном стоке по тропам, по участкам лесоразработок и др.). Ролью контактного стока объясняется и значительная продолжительность водоотдачи с площадки, которая составила более 400 минут после окончания третьего опыта. Вследствие этого

средний коэффициент стока с площадки (0,70-0,83) оказался даже несколько выше мгновенного (0,65-0,81) (табл.17). Измерения стока произведены в лотке, выдолбленном на обнажении в подстилающей плотной породе. Поэтому разность дождя и стока характеризуют потери не поверхностного, а полного стока и включают в себя инфильтрацию в подстилающую породу, почвенное задержание и боковое растекание, которое в свою очередь составлено впитыванием в подстилающую породу на площади растекания и задержанием в смоченной толще грунта, прилегающего к площадке.

Основной проблемой является определение инфильтрации в подстилающую породу. При длительном дождевании емкость задержания на площадке полностью заполнена, при весьма большом дожде прекращается и рост площади растекания - последняя стабилизируется на такой величине, при которой боковой отток полностью расходуется на инфильтрацию. В этом случае разность дождя и стока становится равной потерям на инфильтрацию. Для определения интенсивности инфильтрации в этом случае нужно знать только площадь впитывания в подстилающий слой, т.е. предельную площадь растекания. Последняя может быть определена по ширине фронта выклинивания воды на обнажении, т.е. по нижнему краю площадки. Однако, максимальную ширину растекания по условиям опыта далеко не всегда удается определить. На площадке 9 условия измерения были относительно благоприятны, на некоторых же других площадках боковой отток терялся в осыпи, прилегающей к амфитеатру обнажения, по которому располагался нижний край площадки. Как видно из табл. 17, только на 3-х площадках удалось установить ширину фронта растекания достаточно четко. В подобных случаях нельзя утверждать, что движение полностью установилось, т.е. прекратилось смачивание окружающей толщи грунта, в результате чего избыток дождя целиком идет на инфильтрацию. Следовательно, величины впитывания условно отнесены к площади дождевания, а действительные значения глубинной инфильтрации определены приближенно, для некоторых площадок - предположительно даны особо. Эта последняя величина определена по примерной площади расте-

кания, по-видимому, она несколько преувеличена, поскольку едва ли площадь бокового растекания устанавливается к концу опытов.

В заключение отметим, что скорость растекания, на площадке 9 была неодинаковой в различных опытах. Отмеченная ширина растекания, вероятно, близка к предельной. Это позволяет вычислить действительную инфильтрацию в подстилающий слой, не прибегая к балансовым расчетам с учетом скорости растекания. Соответственные значения интенсивности инфильтрации для второго и третьего опыта составили соответственно 0,13 и 0,11 мм/мин.

На участке 5 дождевание проводилось на площадках 13 и 15, отличающихся большим уклоном и быстрым сбросом воды. На этом участке имеется некоторая эродированность, образованная водами, стекающими с вышележащих участков склона при наличии крутого уклона. В связи с этим и некоторые тальвеги частично закольматированы. Таким образом, на участке существуют условия, благоприятствующие формированию поверхностного стока.

Действительно, на площадках был измерен преимущественно поверхностный сток. Об этом свидетельствует и вид гидрографа, который, имея волнистый характер, отражает неравномеркестъ орошения. Дело в том, что при дальноструйном дождевании подача распыленной струи воды на поверхность производится на отдельные участки площадки поочередно равномерно проводя струей над площадкой. При попадании воды на более плотные участки поверхностный сток увеличивался, а затем вновь уменьшался. Контактный сток, как это показывают наблюдения по лоткам чисто дренажного стока (лоток 2 площадок 31,35и др.) на неравномерность орошения по площадке не реагирует, что и естественно, так как фильтрационное время добегания во всех случаях, даже при подаче воды на нижнюю половину площадки, длительнее микроцикла дождевания.

Полученные на участке резко волнистые гидрографы свидетельствуют о преобладании поверхностных вод в стоке, учтенном с площадки. Контактный сток на участке тоже имел место, но он происходил глубже измерительных устройств и был ими перехвачен в незначи-

тельной степени, о чем свидетельствует и сравнительно быстрое уменьшение стока после конца дождя и ничтожная величина стока на спаде. Сопоставляя амплитуду колебаний стока на площадках 13 и 15 с отмеченной ранее на открытых площадках чисто поверхностного стока, можно полагать, что доля контактного стока в измеренном не превышала 20-30%. Таким образом, интенсивность потерь, приведенная для площадок 13 и 15,характеризует поверхностное впитывание, но с преуменьшением на 20-30% за счет наличия контактной составляющей стока.

Скорость бокового растекания, учтенная при постановке опытов на площадке 15, такая же, как и на площадке 9, но максимальная ширина растекания не была установлена, что в связи с неучетом части контактного стока не позволяет определить инфильтрацию в подстилающую породу площадки 15 даже приблизительно.

Участок 6 характеризуется почти целиком контактным стоком. На единственной площадке участка (19) наблюдалось значительное растекание в стороны. Эта площадка была заложена по обычной методике, но косое залегание пластов привело к тому, что контактный сток прошел мимо измерительных устройств, причем через 1,5 часа после начала опыта 36 ширина растекания достигла 40 м. Сток шел по контактам отдельных слоев, выклиниваясь в виде сосредоточенных выходов мелких струек и капель. Интенсивное выклинивание стока наблюдалось на 79 минуте от начала опыта. Ориентировочно суммарный расход достигал 2-3 л/сек. Закончилось выклинивание на 130 минуте. Поверхностный сток на площадке практически отсутствовал, в качестве него регистрировался приток вод, образовавшихся на микротальвегах площадки.

Через три дня после постановки опыта 36 было произведено повторное дождевание с целью определения скорости добегания контактных вод. Выклинивание воды в виде отдельных капель, слившихся затем в сплошной пластовый выход, произошло на 13-14 минуте от начала дождевания. Если принять, что путь, пройденный водой, прямолинеен, то расстояние от места дождевания до выхода контактных вод со-

ставляет 17-19 метров, т.е. скорость движения контактного стока в данном случае составляет величину порядка 1,3 м/мин. Ориентировочные балансовые расчеты дают величину глубинной инфильтрации на участке того же порядка, что и на площадке 9 - около 0,1 мм/мин.

Участок 7. На участке заложены площадки 23 и 28 для искусственного дождевания и на площадках 40 и 42 устанавливались инфилътрометры. Кроме того, на площадке 28 были проведены два опыта (56-н и 57-н) с напуском воды на склон.

Две площадки, подвергнутые искусственному дождеванию, дали противоположные результаты. На площадке 23 после начала опыта быстро формировался поверхностный сток, с почти не меняющимся от опыта к опыту коэффициентом стока (0,69-0,73). Форма гидрографа также характерна для преобладания поверхностного стока - крутой быстрый подъем и затем дальнейшее медленное возрастание с крутым быстрым спадом. Поверхностный сток происходил по верхнему основному водосливу. Доля контактного стока в стоке этого водослива, судя по амплитуде колебаний поверхностных расходов и по быстрому росту ширины выклинивания, была тоже значительной. Сопоставляя гидрографы стока с площадок 13-15 и 21, можно оценить долю контактного стока на основном водосливе площадки 23 величиной примерно 30-35%.

Водосливом № 2 измерялся исключительно склоновый сток. Характерно, что на расположении выхода контактных вод сказалось общее направление залегания слоев, подстилающих сланцы, обратное направлению уклона реки и ее длины - контактный сток выклинивался у самой верхней (по уклону реки) точки нижнего края площадки. Общая величина этого нижнего яруса контактного стока составляла 20-25% стока с площадок. Следовательно, контактным путем с площадки 23 стекло 50-60% общего стока. Отсюда следует, что величины потерь, не являются характеристиками поверхностного впитывания. Поверхностное впитывание было в 2-2,5 раза больше, составляя величину порядка 0,6-0,8 мм/мин. Есть основание считать, что замеренная ширина растекания близка к полной, а сток с площадки учтен почти полностью (о последнем свидетельствуют и очень высокие коэффициенты стока, достигающие

0,85). Это позволило выяснить интенсивности действительной инфильтрации в подстилающую породу.

Характерным для обильного поверхностного стока является заиление водослива, наблюдавшееся в период с интенсивным стоком (35-40 мин. от начала опыта), что помешало надежному определению величины стока вследствие колебания уровня воды на водосливе, особенно в опыте 41. Приведенные величины минимального впитывания характеризуют величину, полученную при осреднении колебаний стока за период с максимальным стоком.

Площадка 28, расположенная рядом с площадкой 23 на этом же участке 7, стока не дала. Различие в условиях стока на площадках 23 и 28 объясняются особенностями их почвенного покрова, о чем сказано выше. Часть склона, репрезентуемая площадкой 28, является типичной для участков провального впитывания. Мощный рыхлый слой почвы, подстилаемый рыхлыми трещиноватыми породами, поглощает поверхностные воды, причем выход склоновых вод может происходить на значительном расстоянии от места поглощения. С целью получения некоторых характеристик провального впитывания на этой площадке был произведен напуск воды на склон (опыты 56-н и 57-н).

В опыте 56-н подача воды осуществлялась одним шлангом, расположенным у верхней границы площадки. В течение 10 минут подано 3590 л, т.е. средняя интенсивность подачи в точке доставляла 6 л/сек. Движение струи проходило в виде потока широкого в верхней части (у распылителя) 1-1,5 м и сужающегося книзу, при этом поток разделился на 3 струи. На 5 мин.20 сек. расход центральной струи составлял 0,18 л/сек, а после конца подачи через 1 мин.50 сек.- 0,05 л/сек., и через 2 мин.48 сек.-0,012 л/сек.

При повторном напуске (опыт 57-н) подача воды осуществлялась у левого верхнего угла площадки (вниз по склону) со средней интенсивностью порядка 5 л/сек. Стекание происходило концентрированной струей, смывая подстилку (типа микроселя в нижней части струи). Расстояние в 14 м струя прошла за 6 мин. 15 сек. замер расхода в конце струи дал величины 0,14 л/сек, на 5 мин.22 сек. и 0,10 л/сек, на 7 мин.10

сек., т.е. при достижении струей конца площадки.

Опыты с напуском воды на склон показывают весьма высокое впитывание. При естественных дождях такой склон может формировать поверхностный сток только после заполнения всей его емкости, что требует катастрофического количества осадков. Обследование этого склона выше площадки 28 показало, что явных следов поверхностного стока на склоне нет, но возможен перемежающийся поверхностный сток, формирующийся за счет выклинивания контактных вод на переломах профиля или в местах выходов более плотных слоев. Об этом свидетельствует мокрый пласт глины, расположенной в верхней трети склона, приуроченный к излому продольного профиля склона.

На участке 7 были поставлены также 4 опыта по определению впитывающей способности почв методом инфильтрометров на площадках 40 и 42. В двух из них кольца устанавливались на поверхности почвы с забивкой до глубины 42 см, а в остальных - верхний почвенный слой был снят на 52-63 см. Особенностями площадок 40 и 42 являются значительная крутизна склона (до 38°) и наличие мощного гумусового слоя. Горизонт С начинается лишь с глубины 60-70 см. Хорошие водно-физические свойства, ходы землероев и распространение корневых систем по всему 70-см профилю обусловили высокую впитывающую способность почв на этом участке. Так, по данным опытов 76-з и 78-з впитывание в верхнем слое (до глубины 40 см) к концу залива составило здесь 15-23 мм/ мин. При удалении верхнего почвенного слоя и заглублении инфильтрометров в горизонт С (до 75-90 см), представленный глинистым сланцем, установившееся впитывание уменьшается до 1,7-3,8 мм/мин. Разумеется, приведенные цифры очень сильно преувеличены вследствие интенсивного бокового растекания и могут поэтому служить только в качестве индексов.

Резкое ухудшение фильтрационных свойств с глубиной на площадках 40 и 42 можно считать типичным для бурых лесных почв под буковыми насаждениями. Определенные по инфильтрометрам значения впитывания (опыты 79-з и 80-з) в 3-5 раз выше соответствующих величин, полученных методом дождевания на площадке 23.

Участок 8. Здесь заложены две площадки 31 и 35. При дождевании площадки 31 в первом опыте (опыт 59) поверхностного стока не было, контактный сток прошел мимо измерительных устройств. При проведении опыта 60 измерительные устройства были перенесены с учетом мест выклинивания контактного стока. Благодаря интенсивному предшествующему увлажнению (в опыте 59 на площадку было подано 84 мм дождя) в опыте 60 с 22-й мин. от начала опыта начали формироваться отдельные струи поверхностного стока, однако, вся площадка начала давать сток с 40 минуты. На площадке и на обрыве лежит мощный слой мха, который регулирует сброс поверхностных вод и способствует сглаживанию гидрографа. Вследствие большой регулирующей емкости поверхности площадки продолжительность опытов 60 и 63 оказалась недостаточно для получения минимальной величины впитывания. Таким образом, интенсивность потерь (0,85-1,16 мм/мин), приведенная для участка 8, характеризует процесс лишь в начальной зоне стабилизации. Минимальное впитывание ниже.

Нижний край площадки 35 представлял собой почти отвесный обрыв сложенный трещиноватыми сланцами, покрытыми в верхней части гонким слоем почвы. Это позволило не только получить представление о строении площадки в разрезе, но и измерить величины стока, проходящие по отдельным трещинам в сланцах. Выходы наблюдались как в виде отдельных струек с капельным стоком, так и в виде сосредоточенных мощных источников, выходящих под напором. Наиболее интенсивные выходы были замерены в шести точках скалы с различным количеством струй от 1 до 8.

В опыте 69 выклинивание трещинного стока началось через 10 мин. 45 сек. после начала опыта. Выход в наиболее интенсивно действующей точке № 3 и левее ее полосой на протяжение 0,5 м.На 1 пог.м выклинивания приходится до 20 струй различной мощности. Самая мощная - № 3; самые слабые сравнимы со стекающими из мха. Общий расход крупных струй составляет около 0,85 л/сек на 1 пог.метр. Сток, проходивший по трещинам в ходе опыта, измерялся на основном водосливе № 1. Этот же водослив учитывал и сток, идущий из мохового по-

крова, который по своему характеру следует отнести к поверхностному. При этом на спаде в интервале 89-97 мин (конец дождя 42,0 мин) отдача воды моховым покровом происходила с большим расходом, чем давали струи, выходящие из трещин скалы, т.е. в данном случае скорость стекания склонового стока в трещинах скальных пород выше, чем скорость стекания в поверхностном моховом покрове.

Участок 9. Здесь дождеванию подвергалась одна площадка 39. Величина впитывания даже во втором опыте, приведенная в табл. 17, имеет условный характер, будучи весьма преувеличенной, так как наблюдалось значительное растекание контактного стока за пределы площадки. Измерить величину уходящего за пределы площади стока не удалось, но ширина фронта выклинивания почти в два раза превысила ширину площадки. Тем не менее площадка дала высокий коэффициент стока (0,42-0,54). Балансовые расчеты (с учетом скорости растекания, если допустить, что неучтенный контактный сток составляет 50% от наблюденного), дают величину инфильтрации - 0,1 мм/мин.

Участок 10 был выбран для дублирования опытов на участке 7. Здесь заложена площадка 41. Из-за аварии помпы график дождя выдержать не удалось, и опыт был забракован, но результаты опыта интересны тем, что благодаря большому количеству воды, поданной с различной интенсивностью на площадку (223,5 мм), удалось обнаружить выходы склоновых вод на значительном расстоянии от площадки (в 15 м в сторону от установки водослива) выше по течению реки Чвежипсе, в соответствии с обратным залеганием пластов сланцев, подстилающих площадку, и на значительной глубине, примерно на 3,5-4 и ниже уровня нижнего края площадки.

Склон III

На участке 4 проводились эксперименты только при помощи инфильтрометров. Всего было заложено 6 площадок, на которых поставлено 10 опытов, на каждой площадке проведено, как правило, по 2 опыта - один в верхнем слое, а второй - при снятом почвенном покрове до глубины 40-60 см.

На площадке 17 (опыт 32-з) впитывание по сравнению с други-

ми опытами несколько выше, что, видимо, объясняется местными условиями, наличием особо крупных макропор у площадки. Опыт 24-з (площадка 12) забракован ввиду значительного бокового растекания.

Опыты 18-з, 19-з, 26-з, 31-з и 32-з, могут после введения соответствующих редукционных поправок с удовлетворительной точностью характеризовать послойную инфильтрацию в диапазоне глубины забивки кольца. По этим данным возможно получить общую составную инфильтрационную кривую, о чем излагается в других работах (Бефани, 1973).

В верхнем 25-сантиметровом слое величины впитывания в конце опыта очень велики: они колеблются в пределах от 1,35 мм/мин (опыт 18-з) до 5,15-5,50 мм/мин (опыт 26-з и 32-з). В почвенном слое, лежащем глубже (с глубин 40-50 см), коэффициенты инфильтрации значительно меньше: в опытах 27-з и 29-3 они составляют величины от 0,34 до 0,45 мм/мин.

Действительно, в верхней части участка 4 почвенный профиль характеризуется наличием слабопроницаемого горизонта на глубине 21-42 см, выполняющего роль относительного водоупора. Ниже этого горизонта находится рыхлый мелко-скелетный слой с включением большого количества (до 60-90% по объему) обломков $CaCO_3$. Подстилающими породами являются коралловидные известняки. В связи с этим, на глубине 60 см (площадка 10, опыт 21-з) фильтрация и оказалась почти в 3 раза выше, чем в верхнем, горизонте;

Площадки 12, 14, 16 и 17, расположенные в нижней части участка, характеризуются почвенным разрезом 7. Профиль почвы здесь имеет небольшой гумусовый горизонт, а с глубины 50 см начинаются плотные мягкие глинистые сланцы. Скелетность почв невелика, близкое залегание относительного водоупора определяет и соответствующее изменение фильтрационных свойств почвы по глубине.

Итак, если в верхнем слое в конце опытов 26-з, 31-з и 32-з полученные величины впитывания в среднем равны 2-4 мм/мин, то на глубине 60-70 см эти характеристики уменьшаются до 0,36-0,47 мм/мин (опыт 27-з и 29-3), т.е. примерно в 10 раз меньше, чем в предыдущем

горизонте.

Таким образом, "фрагментарность" почв, характерная для горных условий, накладывает свой отпечаток на изменение водно-физических свойств по площади. Поэтому в горных районах для получения надежных характеристик впитывания требуется закладка очень большого числа экспериментов, чтобы исключить особенности отдельных микроплощадок.

Склон IV

Как указывалось выше, на склоне проведены опыты с целью выяснения изменения фильтрационных свойств почв при освоении их под сельскохозяйственные культуры и сады. Необходимо отметить, что постановка опытов сопровождалась значительными техническими трудностями (доставка воды в наиболее удаленные точки склона, наличие крупного скелета в исследуемых почвах, затрудняющего забивку кольца и изоляцию по его периметру). Скелетность почв на участках 11 и 12, а также распространение корней деревьев по профилю на участке 13 обусловили во многих случаях значительное боковое растекание.

Участок 11. Опыты с инфильтрометрами проведены в междурядьях сада, занятых люпином при естественной поверхности почвы (39-з) и при снятом до 46 см верхнем слое. Полученные результаты характеризуют резкое уменьшение коэффициента фильтрации (в 50 раз) при переходе от верхнего структурного пахотного слоя к подстилающим глинистым горизонтам. Особо следует подчеркнуть положительное влияние травяного покрова на сохранение структурности верхнего 40-см слоя, впрочем, отмеченный выше контраст во впитывании связан не только с падением инфильтрационной способности почвы с глубиной, но и с интенсивным боковым растеканием при установлении прибора в рыхлом слое почвы.

Как показали опыты, с глубины 40-50 см инфильтрационная способность почвы падает до 0,1, а в отдельных случаях до 0,06 мм/мин. Начальная впитывающая способность почвы, наоборот, очень велика, почему для возникновения обильного поверхностного стока в садах требуется значительное предшествующее увлажнение, восполняющее ем-

кость 20-40 см слоя почвы (в обычных условиях это требует примерно 20-35 мм осадков).

Участок 12. Опыты, проведенные на площадках 24,26, 32-34 и 36 характеризуют впитывание на распаханном кукурузном и картофельном полях. При этом 4 опыта (42-з, 61-з, 67-з) дают представление о коэффициенте фильтрации в верхнем пахотном горизонте. Впитывание к концу опыта в указанных экспериментах варьировало от 0,67 до 1,78 мм/мин при среднем его значении 1,18 мм/мин.

При забивке колец инфильтрометров в подпахотный слой (опыты 47-з, 62-3 и 65-з) на 60-90 см коэффициенты фильтрации наблюдались в пределах 1,23-4,27 мм/мин (при средней его величине 2,32 мм/мин). Улучшение в 2 раза фильтрационных свойств почвы с глубиной связано с особенностями почвенного профиля. На глубине 60-90 см находится скелетный слой, лежащий на водоупоре и поэтому не полностью заиленный - местами промытый. Однако при работе с инфильтрометрами вода свободно растекается в дренирующем слое, что заставляет оценивать полученные величины "установившегося" впитывания как весьма преувеличенные.

В целом фильтрационная способность почв под сельскохозяйственными угодьями, судя по опытам с инфильтрометрами, довольно велика, почему возможно образование внутрипочвенного стока.

Опыт 10-3, поставленный на площадке 22 на сильно уплотненной почве у распаханного поля, характеризует минимальное впитывание на данном участке. Величина коэффициента фильтрации здесь (0,11 мм/мин) в 10-20 раз меньше, чем на смежном поле. Подобные участки на междурядьях садов очевидно формируют обильнейший поверхностный сток.

Данные площадки 22 в некоторой степени репрезентуют условия на кукурузном и картофельном полях после уборки, когда междурядья значительно уплотняются.

Участок 13. Результаты 5 опытов дают представление о впитывании на двух площадках под пологом леса. Опыты 68-з,70-з и 71-з(площадка 37) характеризует впитывание в верхнем слое. Коэффици-

енты фильтрация получены в пределах от 2,00 до 3,85мм/мин, (при средней величине 2,92 мм/мин). На глубине 72 см среднее значение коэффициента фильтрации уменьшается незначительно - до 2,74 мм/мин. Таким образом, коэффициенты фильтрации в поверхностном слое почвы в лесу и в саду почти одинаковы - в среднем 2,92 и 2,96 мм/мин, а на поле под сельхозугодиями -примерно в 3 раза ниже, на уплотненных же участках (и, видимо, после уборки) - во много раз ниже. Фильтрация в подпочву выше всего в лесу (2,74 мм/мин) (из-за многочисленных ходов корней и трещиноватости), несколько ниже, но достаточно большая - в поле (2,32 мм/мин) -из-за большой щебнистости подстилающих горизонтов, и резко падает в саду (до 0,06 мм/мин).

5.1.4 Итоги экспедиционного изучения склонового стока в бассейне Мзымты

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 опорной речной сети. Особенно велика роль эксперимента в оценке влияния рекреационной деятельности на сток, что необходимо как для расчета сооружений, так и для планирования системы мероприятий по охране и использованию водных ресурсов.

Ливневой склоновый сток возникает за счет избытка 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 стоко-формирующими могут быть как угодно малые интенсивности дождя, поэтому даже на больших бассей-

нах имеют место дождевые паводки, иногда и относительно высокие.

Лесные почвы обладают очень высокой проницаемостью, что связано с рыхлящим действием корней и наличием разветвленной и густой сети макропор биологического происхождения (ходы, оставленные отмершими корнями, кротовины и т.п.). Поверхностный сток в подобных условиях практически не образуется – он возникает только на отдельных малопроницаемых участках – на тропах, трелевочных волоках, местах усиленного выпаса скота и т.п. В то же время наличие слабопроницаемого иллювиального горизонта или тяжелой материнской породы содействует образованию внутрипочвенного стока в верхнем, хорошо фильтрующем горизонте лесной почвы.

Потери паводочного стока здесь определяются не величиной поверхностного впитывания, а наличием свободной емкости почвенного задержания и величиной ***глубинной инфильтрации***, т.е. поглощения воды подстилающим относительным водоупором.

Эксперименты и наблюдения показывают, что длина добегания склонового стока в силу отмеченных обстоятельств обычно не превышает десятков метров, т.е. преобладающую часть длины склонов дождевые воды преодолевают поверхностным и внутрипочвенным путем. В результате гидрограф стока приобретает еще более круто остроконечную форму, напоминая зачастую чисто поверхностный. Поэтому на открытых склонах наблюдается сильная эрозия и паводки легко приобретают селевой характер. Даже в лесах при локальном поверхностном стоке (по местам лесоразработок, тропам и др.) наблюдается большая эрозия и такие реки как Мзымта, Чвижепсе и др. при небольших подъемах уровня становятся чрезвычайно мутными. Само увеличение твердого стока на реках показывает на приток поверхностных вод на открытых склонах с почвы, не закрепленной корнями деревьев, т.к. внутрипочвенные воды почти столь же прозрачны, как и грунтовые. Сочетание между глубинной инфильтрацией, поверхностным впитыванием и почвенным задержанием определяет как величину стока, так и разделение его на поверхностную, склоновую и глубинную составляющие.

Очень большое значение имеет **строение подстилающего**

слоя. Наивысшие паводки образуются при заполненной емкости почвенного задержания, когда потери стока, коэффициент стока определяются только глубинной инфильтрацией. Если трещиноватость подстилающей плотной скальной породы имеет тупиковый характер, и проникает неглубоко (например, в гранитах), то она легко и надолго заполняется водой, а часто и кольматируется. В этом случае инфильтрация приобретает очаговый характер, будучи приуроченной к местам разломов горных пород (сдвиги, сбросы).

Экспериментальная оценка инфильтрации возможна в данном случае только на больших опытных площадках. Противоположные условия возникают на базальтах и вообще на таких изверженных породах, которые имеют трещины, проходящие на всю их глубину до глубоких грунтовых вод, питающих реки и действующих по сдвигам, в древних осадочных породах, подстилающих изверженные и т.п. Дождевые воды в этом случае довольно быстро проваливаются вглубь, и грунтовое питание растет за счет паводочного. Исследования с помощью дальнеструйных дождевальных аппаратов производились на склонах вблизи источника воды, а на участках, удаленных от реки, использовались инфильтрометры. Там, где было возможно, ставились параллельные опыты обоими методами, - для оценки точности или степени пригодности метода заливаемых колец. Как известно, использование инфильтрометров в горных условиях не всегда дает удовлетворительные результаты из-за большой проницаемости поверхностного слоя почв и бокового растекания (Бефани и др., 1965).

Вообще опыты с инфильтрометрами во всех случаях дают преувеличенные результаты, т.к. вода из них поступает не только по вертикали вниз, но и растекается в стороны, в область несмоченного грунта. Однако на почвогрунтах, не имеющих глубже нижней кромки кольца крупных макропор, вертикальная составляющая инфильтрации оказывается преобладающей. Так, ранее было установлено, что если впитывание по инфильтрометрам составляет величины 0,1-0,2 мм/мин, то опытный материал требует лишь небольшого редукционного множителя (порядка 0,8). Но при больших величинах впитывания редукционный

коэффициент значительно уменьшается. В горных условиях, при наличии макропористого дренирующего слоя, вода, дстигнув нижней кромки прибора, стремительно растекается в стороны, и редукционный коэффициент падает до 0,1 и даже ниже. При этом практически ничего не дает создание водяной завесы.

Наличие промытого еще недостаточно закольматированного скелетного слоя под пахотным горизонтом (на глубине 40-50 см) создает очень значительное боковое растекание после достижения инфильтрационной водой дренирующего слоя. В естественных условиях, во время сильных дождей, подстилающая дренирующая прослойка легко насыщается, после чего потери падают, видимо, до очень малых величин, но инфильтрационный опыт подобные условия не воспроизводит.

Рассматриваемые опыты только в нескольких случаях дали интенсивности инфильтрации менее 0,1-0,2 мм/мин. Во всех других случаях результаты опытов с инфильтрометрами явно и значительно преувеличены (табл.18). Тем не менее они имеют определенную ценность в нескольких планах. Во-первых, они могут служить в качестве сравнительных индексов инфильтрационной способности на элементах поверхности различных по почвенно-грунтовым условиям и растительности, а во-вторых, с некоторым приближением по данным инфильтрационного опыта может быть вычислена вертикальная составляющая впитывания. Для однородных почвогрунтов эта задача имеет вполне удовлетворительное решение. Для неоднородных грунтов она тоже принципиально разрешима, если имеются данные по инфильтрометрам, установленным в разных слоях. В-третьих, эти опыты дают некоторую характеристику изменения инфильтрационной способности почв по глубине почвенного профиля. При постановке экспериментов с дождеванием опыт продолжался до получения слабо изменяющегося или колеблющегося стока, для чего требовалось обычно 20-40 минут, редко до 1 часа или несколько больше.

Таблица 18 - Данные опытов по определению впитывания методом залива (интенсивность впитывания, мм/мин) в бассейне реки Мзымта.

Номеров		Время (в мин) от начала опыта									Впитывание на конец опыта	Глубина забивки, см
Опытов	Площадок	0,5	1	2	5	10	20	30	40	100		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Склон 1-а, участок 2-а												
4-з	3	11,0	9,59	7,40[X]	4,20	4,06	3,90	3,74	3,55		3,53	19,0
5-з	4	2,38[X]	2,10	1,70	1,40	1,30	0,83	0,65			0,65	11,5
9-з	7	7,23[X]	6,90	5,98	4,45	4,10	3,98	3,80	3,60	3,58	3,58	21,0
12-з	4	17,9[X]	15,6	13,1	11,5	10,1	8,40				8,30	10,0
13-с	7	11,0	7,20	4,10	2,40	2,30	2,20	2,0	1,98		1,96	16,0
14-з	4	-	-	-	16,2	13,2	11,0	10,6			10,6	9,5
Склон 3, участок 4												
18-з	10	-	-	-	-	4,22	2,39	2,05	1,90	1,72	1,35	28,5
19-з	11	-	(6,00)	5,30	4,23	3,40	3,02				2,90	23,0
21-з	10	81,5	(75,5)	66,7	48,5	30,8	12,5	7,75	6,25	5,00	3,50	14,5
23-з	11	10,5	(9,60)	8,00	4,80	2,80	2,70	2,58	2,40	2,28	1,68	11,5
16-з	14	-	(36,0)	20,0	8,98	7,22	6,30	6,00	5,72	5,40	5,15	28,0
27-з	12	-	-	-	3,60	1,81	0,70	0,50	0,46	0,41	0,34	17,0
29-з	14	-	-	-	3,22	1,52	0,60	0,50	0,48	0,48	0,45	15,0
31-з	16	-	(36,4)	20,2	8,50	5,50	4,93	4,69	4,40	4,20	4,00	25,5
32-з	17	35,0	(35,0)	30,0	20,0	8,98	7,22	6,00			5,50	26,0
Склон 4, участок 11												
38-с	21	-	-	-	2,43	0,40	0,15	0,12	0,11	0,09	0,06	12,0
39-с	21	12,2	11,2[X]	9,47	5,82	3,65	3,00	3,00	3,00	3,00	2,98	36,0
Склон 4, участок 12												
40-з	22	21,0	7,40	4,18	1,75	0,40	0,19	0,15	0,13	0,11	0,11	36,0
42-з	24	-	-	-	8,20	2,97	1,80	1,80	1,80	1,80	1,78	41,0
47-з	26	-	-	-	6,70	2,52	1,58	1,40	1,25		1,23	26,0
61-з	32	74,5	45,0	10,8	5,80	3,20	0,75	0,72	0,67		0,67	41,0
62-з	32	50,4	9,90	7,00	5,50	5,20	4,85	4,56	4,28		4,27	25,0
64-з	33	-	-	3,70	1,92	1,63	1,53	1,40	1,38	1,32	1,32	27,0
65-з	34	28,0	10,0	4,10	2,20	1,82	1,71	1,60	1,54	1,47	1,47	37,0
67-з	36	26,6	14,0	2,58	1,10	1,05	0,98	0,96	0,96	0,97	0,97	27,0
Склон 4, участок 13												
45-з	25	43,0	26,0	14,9	11,2	9,80	7,85	6,63	5,40	4,20	4,12	27,0
48-з	25	6,20	4,30	3,0	2,40	2,20	1,80	1,70	1,55	1,40	1,36	27,0
68-з	37	82,7	(39,0)	11,0	6,80	5,80	5,10	4,78	4,48	4,20	3,85	33,0
70-з	37	80,0	10,3	4,00	2,40	2,20	2,10	2,08	2,06	2,00	2,00	33,0
71-з	37	–	(16,0)	6,10	3,50	3,10	3,00	2,97	2,95	2,93	2,90	33,0
Склон 2, участок 7												
76-з	40	85,0	53,5	39,0	33,2	29,5	26,5	24,2			23,0	42,0
78-з	42	30,0	22,8	19,0	17,0	16,5	16,0	15,3			14,8	42,0
79-з	40	37,4	33,0	26,7	16,0	11,8	9,70	7,80	6,80	5,80	3,78	26,0
80-з	42	(7,6)	(6,20)	3,20	2,70	2,30	2,12	2,00	1,90	1,75	1,66	22,0

ПРИМЕЧАНИЯ к табл.18:1. Опыты № 8-з, 2-з, 24-з, 35-з, 37-3, 46-з, 50-3, 53-з, 54-з, 55-з, 44-з, 58-з и 73-ззабракованы и в таблице не приводятся.
2. Опыт to 5-з - объем залитой в инфильтрометр воды составил 73 мм, опыт № 78-з – около 400 мм.
3. В опыте № 61-з с 58 мин началась утечка воды.
4. В опыте № 78-з – за 17 мин 20 сек до начала опыта.

Для получения установившихся величин стока и инфильтрации, как показали опыты, дождевание следовало бы продолжать в течение многих часов, но имеющаяся аппаратура не позволила воспроизводить многочасовые дожди, да это и не достигло бы цели, т.к. малые приращения стока были бы поглощены ошибкой измерения.

Полученные в конце опыта интенсивности стока, инфильтрации и соответствующие мгновенные максимальные коэффициенты стока (отношение измеренных величин стока и дождя в конце опыта) не являются предельными, а относятся к ливням продолжительностью 30-60 минут, они характеризуют относительную стабилизацию процесса - переход от фазы быстрого затухания потерь к их медленному дальнейшему падению. К сожалению, по техническим причинам опыт иногда приходилось прекращать ранее достижения даже условно установившегося (медленно изменяющегося) стока. Для таких опытов подсчитан только средний коэффициент стока, характеризующий сброс воды с экспериментального участка в условиях непостоянства потерь.

Условия, в которых проводились эксперименты, довольно разнообразны, поэтому данные опытов приведен для каждого склона и участка отдельно (табл. 19 и 20).

Наиболее достоверные опыты с дождеванием больших площадок горных склонов дали величины впитывания в подстилающий слой порядка 0,1 мм/мин. Эти данные несколько преувеличены за счет того, что процесс растекания в опытах не достиг своего предельного состояния и сток контактных вод не был полным. Балансовые расчеты, учитывающие затухающую скорость бокового растекания, дают величины инфильтрации порядка 0,07-0,08 мм/мин и никак не менее 0,05 мм/мин.Сказанное подтверждает тот факт, что на водотоках низкогорной зоны Кавказа наблюдаются паводки с модулями стока достаточно высокими за счет обильных осадков даже невысокой интенсивности -

0,05-0,10 мм/мин.

Таблица 19 - Сводные данные о впитывании и коэффициенте стока на участках склонов в бассейне реки Мзымта

№ п/п	Площадка размер	уклон	Номер опыта	Дата	Начало опыта час	мин	Продолж дожд дя мин	Суммарные за опыт, мм Осадки	Сток	Коэффициент стока	Мгновенная интенсивность дождя	впитывания	Макс. коэф. стока	Впитывание, мм/мин
Склон I, участок 2														
2	206	0,55	2	1.VII	10	50	108	132	35	0,27	0,99	0,36	-	
			3	2.VII	8	50	210	262	72	0,27	1,26	0,95	0,26	
5	47,5	0,77	7	2.VII	14	00	45	137	57	0,42	3,00	1,37	0,54	
			10	2.VII	15	30	45	155,	65	0,42	3,46	1,76	0,49	
Склон II, участок 3														
9	280	0,57	17	5.VII	11	32	52,5	52,8	36,7	0,70	1,17	0,41	0,65	0,37
			20	8.VII	8	45	60	78,0	58,3	0,75	1,24	0,20	0,84	0,13
			22	8.VII	11	15	60	68,2	56,4	0,83	1,14	0,18	0,84	0,11
Склон II, участок 5														
10	191	0.83	225	10.VII	9	05	52	113	18,5	0,16	1,16	0,76	0,35	
			28	10.VII	13	06	87,5	80,7	15,0	0,19	1,22	0,81	0,34	
			30	11.VII	9	00	62,5	42,1	10,5	0,25	0,70	0,49	0,30	
15	274	0.70	33	12.VII	9	05	67,5	47,3	16,8	0,36	0,83	0,46	0,44	
			34	12.VII	12	30	52,0	34,8	9,6	0,28	0,70	0,45	0,36	
Склон II, участок 6.														
19	211	0,58	36	14.VII	9	45	88	95,6	0,71	0,01	1,38	1,35	-	
			51	17.VII	13	06	21	24,3	нет	-	1,16	1,16	-	
Склон II, участок 7.														
			41	15.VII	10	15	40	72.2	50.2	0.69	2.0	0,3	0,85	0,14
23	175	0.60	43	15.VII	11	30	35	54,2	39,7	0,73	1,5	0,3	0,79	0,13
			49	17.VII	9	33	30	65,2	46,3	0,71	2,2	0,4	0,83	0,13
28	166	0,24	52	17.VII	14	04	60	96	нет	-	-	-	-	-
Склон II, участок 8.														
			59	19.VII	11	45	46	84		забракован				
31	152	0,60	60	20.VII	9	30	96	191,7	80,6	0,42	2,07	0,85	0,59	
			63	20.VII	12	42	50	111,9	48,8	0,44	2,17	1,02	0,53	
35	125	0,72	66	21.VII	9	30	75	177,5	65,6	0,37	2,54	1,02	0,60	
			69	21.VII	12	48	42	111,4	70,5	0,63	3,00	1,16	0,61	
Склон II, участок 9.														
39	131	0,68	74	24.VII	10	05	50	131,6	54,9	0,42	2,4	1,30	0,47	
			75	24.VII	12	05	33,5	47,5	25,7	0,54	1,2	0,60	0,52	
Склон II, участок 10.														
41	120	0,24	77	25.VII	10	50	75	223,5	0,58	0,003	2,9	-	-	

Примечание: В табл. 19 дана интенсивность впитывания в подстилающую породу, отнесенная к площади растекания

5.2 Экспедиционные исследования склонового стока в бассейне реки Шахе

5.2.1 Задачи исследований

Экспериментальные работы в бассейне р.Шахе явились продолжением исследований, Одесским гидрометеорологическим институтом (ОГМИ) и СочНИЛОС, в поясе широколиственных лесов Черноморского побережья Кавказа (бассейн р. Мзымты). Целью этих работ было выявление особенностей формирования склонового стока в прибрежной полосе Причерноморья. Для этих районов характерно длительное хозяйственное воздействие, состоящее в вырубках и раскорчевках лесов с целью использования освобождаемых от леса территорий под пашни, сады, плантации, застройку и т.п. Изучение формирования склонового стока в наиболее заселенной предгорной части Черноморского побережья Кавказа весьма важно в двух планах:

- из сопоставления данных о стоке и инфильтрации на склонах "естественных" и подверженных различным хозяйственным воздействиям можно сделать ряд выводов, необходимых для правильного использования лесных богатств Кавказа;

- исследование параметров склонового стока открывает возможности рационального проектирования на Черноморском побережье Кавказа ряда сооружений, связанных с водными ресурсами, курортами, транспортом, промышленным и сельскохозяйственным строительством, с различными противоэрозионными мероприятиями и т.п.

Из сказанного вытекают основные задачи исследований:

- Выбор участков, репрезентующих различные типы склонов и растительности.

- Установление генезиса стока на каждом участке, т.е. распределение стока на склоновый, паводочный и грунтовый.

-Изучение поверхностного впитывании, инфильтрации и скоростей добегания поверхностных и дренажных вод на каждом типе склонов в динамике во времени.

В связи с ограниченностью сроков экспедиционных работ в задачу

исследований ставилась только качественная и самая общая количественная оценка средних параметров стока на репрезентативном участке. Для получения обобщающих формул инфильтрации и кривых пространственного распределения потерь потребовалось бы провести значительно большее число экспериментов для ограниченного числа склоновых типов.

5.2.2. Характеристика природных условий района исследований

По данным СочНИЛОС (Ильин, 1967), основная часть территории г.Большой Сочи, включающая Лазаревский и Адлерский районы: и непосредственно г. Сочи (более 350 тыс. га), занята лесами (80%). Выгоны и пастбища, расположенные в основном в Адлерском районе, занимают 6,4% территории. Довольно большая площадь (5,3%) приходится на эродированные участки, оползни, осыпи и другие неудобные земли. Смытых и неустойчивых земель в Адлерском районе 7,4%, а в Лазаревском - 2%.Следует подчеркнуть, что подавляющая часть освоенной территории (под сельскохозяйственными угодьями, застройками и т.д.) расположена в узкой 6-10 км предгорной полосе. На площади только прибрежной части Большого Сочи под лесной растительностью находится 53,6% территории, а остальные 46,4% распределяются между пахотными землями (6,4%), садами и плантациями (15,0%), постройками и приусадебными участками (13,6%) и т.д.

Анализ землепользования на время проведения исследований показыает, что в структуре земельных угодий произошли значительные изменения. Так, за счет застройки, а также эрозии, площади под пахотными землями уменьшились в 3,5 раза.

Район исследований входит в предгорную часть бассейна р. Шахе и включал 5 и 12 кварталы б. Лооского лесничества Сочинского опытного мехлесхоза и земли совхоза № 4 Сочинского треста совхозов.

Река Шахе берет начало на северном склоне хребта Чуры - отрога Главного Кавказского хребта, на высоте около 1900 м над ур. моря. Площадь бассейна ее составляет 553 км^2, а длина - 57,5 км. Часть правобережных притоков Шахе - Буший, Монашка, Ажу - стекают с Главного хребта. Самый большой ее приток - Бзыч имеет длину 25 км и

площадь водосбора 111 км^2. Шахе имеет горный характер (средний уклон русла 0,033), русло ее в среднем и нижнем течении неустойчивое и сильно блуждает по галечной пойме. По геологии и геоморфологии ее бассейн разделяется на предгорную и горную части. Предгорья занимают узкую полосу вдоль моря с высотами до 350-400 м и шириной до 6-10 км. Они характеризуются распространением низких гор, холмистых и увалистых возвышенностей с относительно мягкими сглаженными формами рельефа.

Предгорная часть крутыми горными уступами, проходящими вдоль линии тектонического разлома, переходит в горы. При всей сложности геоморфологического строения бассейна можно различить ряд параллельных хребтов, простирающихся с северо-запада на юго-восток. Южнее водораздельного Главного Кавказского хребта проходит хребет Бзыч с высотами свыше 2000 м над ур. моря, а юго-западнее последнего -гряда, образованная хребтом Амуко, следующим через вершины Бзыч-Бзныч. Между хребтами имеются понижения - депрессии, сложенные менее плотными породами, сильнее подверженными размыву. Реки протекают по таким депрессиям и при пересечении горной гряды резко меняют направление вместе с депрессионными долинами. Так, р. Шахе в верховьях более 15 км течет на северо-запад между Главным хребтом и хребтом Бзыч и затем резко поворачивает на юго-запад.

Первая гряда наиболее высоких хребтов сложена среднеюрскими вулканическими сланцевыми и кристаллическими породами с включениями верхнеюрских известняков. Следующие более низкие гряды слагаются преимущественно глинистыми сланцами и песчаниками юрского возраста и мергелями и известняками мелового периода.

Горные гряды и хребты расчленены на отдельные массивы многочисленными реками и ручьями. Протяженность склонов варьирует в широких пределах. Склоны к основным рекам имеют протяженность до 500-1000 м.

Распределение территории по группам крутизны показывает, что на склоны крутизной до 10° приходится 5,6% территории, 11-20° -

21,6%, свыше 21° - 72,8% площади лесного фонда. Район экспериментальных работ (нижнее течение р. Шахе) по геологическому строению характеризуется широким распространением осадочных горных пород юрского, мелового, третичного и четвертичного возрастов.

Наибольшее распространение в прибрежной зоне имеют породы меловой системы. Отложения маастрихтского и датского ярусов этой системы представлены мощными напластованиями известняков, мергелей и песчаников. Для всех свит указанных ярусов характерно преобладание мергелей - от 74 до 95% и значительно меньшее содержание известняков (до 25%) и песчаников (до 8%).Отложения палеогеновой системы, представленной палеоценом, состоят из песчаников, алевролитов и аргиллитов. В верхнем палеоцене преобладают песчаники и алевролиты (60—75%), а в нижнем .палеоцене - аргиллиты (глинистые сланцы).

В тектоническом отношении рассматриваемый район характеризуется наличием серии тектонических сближенных разломов типа надвигов и взбросов. Наряду с наличием крупной синклинальной структуры коренные породы в пределах района интенсивно перемяты, а вблизи разломов - раздроблены. Мощность современного рыхлого четвертичного покрова на склонах выдерживается в пределах 0,2-0,4 м, а на пологих участках подножий склонов может возрастать до 1,0-1,5 м с образованием делювиальных шлейфов.

Почвенное обследование показало, что здесь наибольшее распространение имеют следующие типы почв: I - перегнойно-карбонатные почвы; II - бурые горнолесные почвы; III - горные желтоземы. Среди них выделены следующие подтипы и виды: а) перегнойно-карбонатные выщелоченные почвы, б) темно-бурые горнолесные, в) бурые остаточно-карбонатные почвы, г) светло-бурые горнолесные почвы.

Встречаются также делювиальные и аллювиальные почвы (карбонатные и некарбонатные), маломощные почвы крутых склонов, осыпи и обнажения.

По мощности генетических горизонтов и всего почвенного профиля почвы можно разделить на:

а) мощные - гор. А+ В1 - 25-30 см; А+ B_1+B_2 - более 80 см;

б) среднемощные - гор. А+ B_1 - 30-45 см; А + B_1 + B_2 - 50-80 см;

в) маломощные - гор. А+ B_1 - не более 45 см; А+B_1+B_2 - менее 50 см.

Основная часть площади (77%) занята бурыми горнолесными почвами, состоящими на 10,8% из мощных, на 73% из среднемощных и на 16% из маломощных почв. Значительно меньше распространены перегнойно-карбонатные почвы (23% территории), из них 7,5% приходится на мощные, 74% на среднемощные, -18% на маломощные.

Желтоземы занимают незначительную площадь (0,22%), делювиальные и аллювиальные почвы (0,14%) и маломощные почвы крутых склонов (0,12%) встречаются еще реже.

В целом на данной территории лесного фонда мощные почвы занимают 10,1% площади, среднемощные - 73%, маломощные-17%.Пестрота почвенного покрова в горных условиях общеизвестна, тем не менее автором отчета по обследованию почв лесопарковой зоны б.Сочинского мехлесхоза З.С.Богатыревой (1964) прослежены следующие основные закономерности в распространении почв (Бефани и др., 1968).

На северных склонах в верхних частях формируются светло-бурые почвы, обычно небольшой мощности, в нижних - бурые среднемощные почвы. На южных склонах распространены перегнойно-карбонатные типичные выщелоченные почвы, в верхней трети склонов - маломощные, в нижней трети - среднемощные. По хребтам выделены маломощные каменистые светло-бурые почвы, а на карбонатных породах - перегнойно-карбонатные маломощные. Обращенный к морю южный склон характеризуется распространением перегнойпо-карбонатных почв мощностью 40-70 см.

К востоку от р. Шахе под буковыми и каштановыми насаждениями широко распространены светло-бурые среднемощные почвы, а по хребтам и в нижней обрывистой части западного склона р. Шахе преобладают маломощные каменистые почвы. В нижней трети склонов балок под буковыми насаждениями распространены бурые среднемощные почвы на глинистых сланцах и перегнойно-карбонатные выщелоченные

почвы на мергелистых глинистых сланцах.

В распределении почвенного покрова в зависимости от крутизны склонов следует отметить одну особенность. Район исследований длительное время находится под воздействием человека. В связи с тем, что из-за потери плодородия и эрозии бывшие сельскохозяйственные угодья нередко забрасывались, на них появлялись вторичные малопродуктивные, леса. При изучении почв на таких площадях выясняется, что мощность почв не согласуется с величинами уклонов. Часто на более пологих склонах почва смыта в большей степени, чем на крутых, где лесная растительность никогда не сводилась.

Климат района теплый и очень мягкий. Годовые температуры воздуха составляют 13-14°. Средний из абсолютных минимумов -5°, в долинах -8°. Продолжительность безморозного периода достигает 8-10 месяцев, а иногда он продолжается в течение всего года. Осадков выпадает много - 1200-1600 мм в год. Около 50% из них приходится на холодный период года (с XI по III мес). Минимум осадков отмечен в мае (60-80 мм).

Осень наступает во второй половине октября, и в это время преобладает теплая солнечная погода. Температура воздуха в октябре находится в пределах 14-16°, а в ноябре - в пределах 10-12°. Со второй половины ноября среднесуточные температуры воздуха устойчиво переходят через 10° в сторону уменьшения, и наступает зимний период, продолжающийся около 4 месяцев. Зимой погода пасмурная, дождливая и сырая. Значительные похолодания в это время наступают лишь при вторжении на Черноморское побережье холодных воздушных масс с севера и северо-запада. Устойчивый переход среднесуточных температур воздуха через 15° в сторону увеличения наступает в середине мая. Осадки весной в основном обложные (до 60% всех случаев), а всего за весну выпадает 200-300 мм. Лето является самым продолжительным сезоном на побережье -5-6 месяцев, а иногда до 7 месяцев. Среднемесячные температуры в период июнь-сентябрь находятся в пределах 18-23°, уменьшаясь в переходные месяцы (май, сентябрь) до 14-16°. Самая

жаркая погода бывает в июле-августе. Содержание влаги в воздухе летом очень высокое. Дожди летом кратковременны, нередко сильные и почти всегда сопровождаются грозами. По данным А.С.Мосияш и А. М. Лугавцова (1967), 13 раз в 100 лет на побережье возможны ливни с суточным максимумом осадков более 100 мм. Такие ливни опасны для народного хозяйства, часто они наносят большой ущерб не только сельскому, но и городскому хозяйству.

5.2.3. Методика исследований

В соответствии с задачами исследований, на каждом из изученных типов склонов выбиралось от одной до трех репрезентативных больших площадок, которые подвергались дальнеструйному дождеванию. Площадки располагались или непосредственно выше кромки естественных скальных обнажений, или по верхней границе выходов почвенно-грунтовых вод. Если на исследуемом склоне не удавалось найти обнажения или заболачивания, то стоковые площадки располагались на слабо вогнутых участках склона, а по их нижней границе устраивалась водосборная траншея, врезанная по возможности до относительного водоупора и имеющая длину, достаточную для перехвата вод бокового растекания с площадки.

Такого рода опытный материал с некоторым приближением характеризует процесс стока в условиях, более или менее близких к средним на данном склоне. На склонах с преимущественно поверхностным стоком, чтобы получить некоторые представления о вариации интенсивности стока и впитывании по площади склона, кроме больших площадок закладывались малые (метровые) площадки, а также инфильтррметры в виде металлического кольца, забитого на определенную глубину и обмазанного по периметру глиной. Для устранения потерь на боковое растекание при дождевании малых площадок по контуру площадки (боковые стороны и нижняя) прокладывалась траншея по возможности до относительного водоупора. Площадка (обмазывалась глиной, траншея засыпалась влажной глиной с утрамбовкой. Таким обра-

зом создавался глиняный зуб. По нижней границе площадки в глиняном зубе оборудовался лоток, по которому вода поступала к водоприемной яме. Для уменьшения дренажа такая яма удалялась от площадки на расстояние 1 м и более. Глубина ямы не превышала 0,5 м.

5.2.4 Описание склонов, участков и площадок

Экспериментальные исследования проводились на четырех склонах, на которые выбрано 7 репрезентативных участков с общим количеством опытных площадок 32.

Ниже приводится описание выбранных для экспериментов склонов и участков, расположение участков и площадок на склонах и особенности их.

В табл. 20 дается сводная характеристика склонов и участков, в табл. 21- распределение опытов по склонам и их количество.

Склон I

Склон расположен на левом берегу р. Шахе, несколько выше пос. Головинка, в 5 квартале б. Лооского лесничества Сочинского опытного лесхоза.

Экспозиция склона северная, интервал высот от подошвы до вершины 40-150 ,м, крутизна варьирует от 10 до 35°.

Коренные флишевые породы представлены массивными темно-серыми с голубоватым оттенком мергелями (до 95%) с тонкими прослоями серых песчаников (до 5%). Мощность пластов мергелей достигает 1,5-2 м, мощность песчаников 0,05-0,1 м. Почвообразующимп породами являются: в нижней части склона карбонатные сероватые глины, выше - мягкие бескарбонатные глины делювия, бурые глины. Мощность почвенного профиля колеблется в значительных пределах - от 35 до 140 см. Морфологическое описание почвенного профиля представлено показателями физических свойств почвы в табл. 22. Физические свойства серых лесных почв вследствие оглеения неудовлетворительные, а бурых горнолесных - удовлетворительные и хорошие. На склоне имеются следующие угодья: зарастающие и полностью зарос-

шие лесом прогалины (используются для выпаса), старо-возрастная плантация фундука и затронутый хозяйственной деятельностью каштановый лес (участки 1—4).

Участок 1 (зарастающая прогалина). Расположен в нижней трети склона . Экспозиция северо-западная. Почвы перегнойно-карбонатные, выщелоченные, тяжело-суглннистые оглеенные на карбонатной серой глине. Растительность представлена группами дико-плодовых груша, алыча, боярышник), ольхи черной, граба, кустарников (свидина, лещина). Травяной покров почти сплошного покрытия (злаково-разнотравный), сильно затравлен скотом, встречаются пятна папоротника орляка (группами высотой до 1,5 м). Из внеярусной растительности широко представлены лианы (сассапариль)..На участке заложены три площадки (2, 4, 11) для искусственного дождевания и установлено три инфильтрометра (1,3, 5) для изучения впитывания методом залива.

Таблица 20 - Характеристика участков, где проводились эксперименты по изучению склонового стока

№ склона	№ участка	Расположение, физико-географические условия: высота над ур. моря, экспозиция, часть и крутизна склона	Почвы и материнская порода	Таксационная характеристика насаждения	Тип леса, класс бонитета	Характеристика подстилки
I		Нижняя часть склона северной экспозиции к р. Шахе, кв.**5,** Лооского л-ва Сочинского лесхоза. Крутизна склона **18°,** высота над ур. моря 50 м.	Серые лесные (среднемошные) на карбонатных сероватых глинах с крупными обломками мергелей.	Зарастающая прогалнна	-	-
I	**2**	Средняя часть склона северной экспозиции, крутизной 15-22°, землепользование совхоза	Бурые горнолесные, тяжело-суглинистые, хрящеватые на бурых глинах.	Старо-возрастная-плантация фундука	-	-
I	3	Нижний часть склона северной экспозиции, кв. 5, Лооского л-ва,	Серые лесные (среднемошные) на карбонатных сероватых глинах	10 Ол. ч. (10-15 л) высота 8 м, диаметр12**см.**	Ольщатник ежевиковый I бонитет	Прерывистая, мощность до

		Соч. лесхоза. Крутизна 18°, высота над ур. моря 50 м.	с крупными обломками мергелей.	Сомкнутость полога0,7, полнота 0,5		0,5 см, рыхлая
I	**4**	Сочинский лесхоз, Лооское лесство, кв. 5. Экспозиция северная, крутизна склона 10-25°. Высота над ур. м.80 м, микрорельеф выражен.	Бурые горнолесные, тяжелосуглинистые, мощные, с участием обломков горных пород в профиле. Материнская порода-мягкие мергели и их элювий.	4 Кш (110-130 л.),8 Кш (30-50 л.) +Ольха (25-30 л.) ед. Граб, полнота 0,4, сомкн. 0,8.	Каштанник лещиновый I бонитет	Рыхлая, сплошного покрытия, мощностью 0,5-2 см
II	**5**	Левобережный склон долины р. Шахе, кв. 5, Лооского л-ва Соч. лесхоза. Экспозиция северо-западно-западная. Средняя крутизна склона 30°, высота над ур. моря 80 м+. Нижняя треть склона.	Перегнойпокарбонатные, тяжелосуглинистые, мало и среднемощные, иа элювии карбонатных глинистых пород.	10 Граб-к, ед. Д 80 (120) лег. Высота 20 м., диам, 22 см, редина, в подросте грабинник	Грабинник злаковый, V бонитет	Прерывистая, рыхлая, до 1 см
Ш	6	Левый берег р. Шахе у пос.Головинка, кв. 12 Лооского л-ва. Высота над ур. м. 40 м. Экспозиция северо-западная. Нижняя часть склона, крутизна 15°.	Слабо эродированная бурая горнолесная, тяжелосуглинистая, среднемощная на глинистом скелетном элювии.	10 Г, ед. Чрш, Д, Кш, Ол (возраст 18-20 л). Полнота 0,8. В подлеске ед. азалия, боярышник.	Грабовник овсяницевый, II бонитет	Рыхлая, слаборазложившаяся, мощностью до 1 см
IV	7	Квартал 12 Лооского лес-ва Соч. лесхоза. Высота над ур. моря 40 м. Нижняя часть склона, экспозиция северо-западная, крутизна склона 10-25°.	Слабо эродированные бурые горнолесные среднемощные на глинистом скелетном элювии	8-летние культуры каштана с кедром гималайским на участке . рубки 1957 г.	Каштанник лещиновый, I бонитет	Рыхлая, слаборазложившаяся, мощностью до 1 см

Площадки 1, 3, 5 расположены в верхней части склона среди отдельных групп дикоплодовых (груша, алыча). На площадках сплошной

травяной покров - злаковое разнотравье. Пл. 1 находится в трех метрах ниже по склону от пл. 3, 5, расстояние от ближайшей группы деревьев составляет три метра.

Пл. 3 выбрана между единичными экземплярами дикоплодовых, удаленпых на 1,5 м вверх и 1 м вниз по склону. На расстоянии 2 м от площадки встречаются единичные экземпляры подроста дуба высотой до 1 м.

Таблица 21 - Распределение опытов **по** склонам и участкам

Склон	Участок	Общее количество		Методика проведения опытов		Почвенные разрезы (№№)
		опытов	площадок	дождевание	инфильтрометры	
I	1	10	6	7	3	1
I	2	18	6	6	12	2,3
I	3	2	1.	2	-	-
I	на границе 2 и 4	5	2	3	2	4
I	4	9	3	6	3	5
II	5	27	8	27	-	6, 7, 8, 9,10
III	6	10	3	10	-	11
IV	7	3	1	3	-	-
Всего:						
4	***7***	84	30	64	20	11

Площадка 2 расположена в нижней части участка 1. Экспозиция северо-западная. В 20 м от нижней границы площадки протекает ручей. Микрорельеф выражен. Уклон неодинаков: вверху площадки он составляет 25-30°, на расстоянии 10 м от нижней границы уклон возрастает до 35-40°.Почва - типичная для склона 1 (разрез № 1), сильно уплотнена. Дернина местами выбита скотом. Отмечены отдельные выходы мергеля .Площадка неправильной формы, представляет собой нижнюю часть лесной поляны с единично стоящими ольхой, лещиной, дикой яблоней и подростом каштана. Преобладающий травяной покров - осока, пырей, клевер, подорожник, папоротник. Для регистрации стока площадка была оборудована водосборным лотком, вырытым на глубину 20-25 см и

обмазанным глиной. Треугольный водослив установлен приблизительно на середине лотка. Им учитывалась только поверхностная составляющая стока.

Площадка 11 расположена над пл. 2, с которой имеет общую нижнюю границу. Верхняя граница площадки проходит по зарослям папоротника. Участок открытый. Травяной покров густой, по составу аналогичен покрову на пл. 2. В левом верхнем углу площадки - группа лещины. Площадка почти прямоугольной формы, нижняя граница оборудована водосборным лотком, врытым на глубину 20-25 см и обмазанным глиной. Учет поверхностной составляющей стока производился водосливом у пл. 2. Для подвода воды к водосливу использовался отводящий лоток, проложенный по левой границе пл. 2. Общая длина водопроводящего лотка составляла 24 м.

Площадка 4 находится выше по склону от пл. 11 на 15 м. Травяной покров - сильно затравленная злаковая растительность. В метре от площадки вверх по склону - алыча, ниже -ольха черная. Возраст деревьев 10-15 лет. Площадка правильной формы, площадью 1,2х1,2 м. С двух боковых и нижней сторон изолирована на глубину 130-150 см глиняным зубом. В опытах учитывалась лишь поверхностная составляющая стока.

Участок 2 (плантация фундука)

Расположен на склоне Iв средней его части, несколько правее и выше участка 1. Участок ориентирован на север .Крутизна склона 15-22°, к вершине увеличивается до 25-29°. Микрорельеф выражен. Почва бурая горнолесная, тяжелосуглинистые со значительным включением обломков горных пород. Мощность почвенного покрова увеличивается к нижней части склона - к месту постановки экспериментов. Физические свойства почв хорошие и удовлетворительные. Материнская порода - бурые глины. Участок занят старо-возрастной плантацией фундука. Плантация начинается у вершины склона, длина ее 150-200 м, ширина - 30-40 м.

Размещение кустов фундука 6х6.Диаметр крон кустов в нижней части плантации 6-8м, к вершине склона снижается до 3-4 м**.** Местами

кроны соприкасаются. Общая сомкнутость полога в местах заложения площадок 0,3. Травяной покров почти сплошной, представлен земляникой, папоротником, плющом, осотом, овсяницей, лютиком, клевером и др. видами. В порядке ухода за плантацией травяной покров скашивается. Во время проведения опытов его высота не превышала 15 см, (укос произведен 15 дней назад). Приствольные круги фундука периодически перекапываются. Отмечается обильный самосев древесных и кустарниковых пород (каштана, дуба, боярышника, алычи).На участке отмечен выпас скота(прогонный). По сравнению **с** участком 1 данный участок характеризуется наиболее благоприятными лесорастительными условиями.

На участке 2 были проведены опыты с дождеванием малых площадок (12, **6,** 22) и опыты **с** инфильтрометрами (пн. 9, 13, 7, 10, 15). Все опытные площадки располагались в нижней части склона. Площадки 22 и 15 были установлены на границе участков 2 и 4 (насаждение каштана, типа леса – каштанник лещиновый).

Площадка 6 заложена в нижней части участка 2 на расстоянии 2-3 м от откоса между четырьмя кустами фундука, удаленными от границ площадки на 2-3 м. Почва достаточно рыхлая, умеренно увлажненная. Поверхностный слой хорошо дренирован. До глубины 25 см наблюдается развитая корневая система. Глиняный зуб заложен до глубины 10-35 см. Водосборный лоток на глубине 5 см. Водосборная канава удалена от площадки на 1,2 м.

Площадка 7 расположена выше по склону и правее пл. 6, оборудована инфильтрометром, забитым на глубину 37 см. Ближайшее дерево удалено от площадки на 3 м. Раскопкой бокового растекания не обнаружено.

Площадка 9 расположена на одной линии с пл. 6, выше по склону на 15 м. Находится в центре между четырьмя кустами фундука. Инфильтрометр в опыте 13-з был забит на глубину 28 см при естественном состоянии поверхности, типичном для склона.

При повторных опытах на пл, 9 перед установкой инфильтрометра удалялся верхний слой грунта. Общая величина удаленного слоя

грунта составила 56 см в опыте 17-з, 95 см - в опыте 12-з и 110 см - в опыте .27-з. Положение нижней границы инфильтрометра от естественной поверхности склона в этих опытах достигало соответственно; 82, 111 и 136 см.

Площадка .10 расположена на одной горизонтали с пл. 9, правее ее на 10 м. Со всех сторон на расстоянии 2-3 м. площадка окружена кустами фундука высотой до 5 м. На площадке были поставлены опыты: при естественном покрытии с глубиной забивки инфильтрометра 23 см - 15-з; со снятым верхним слоем грунта - 19-з и 23-з. Слой снятого грунта в опыте 19-з составил 50 см, глубина забивки 24 см, т.е. нижняя граница кольца находилась на глубине 74 см от естественной поверхности. В опыте 23-з слой снятого грунта достиг 81 см, а положение нижней границы инфильтрометра 106 см. Утечки воды в стороны во время опытов не обнаружено.

Площадка 12 расположена в 7 м от пл.9, выше по склону, на одной горизонтали с пл. 13 и 15. Кусты фундука удалены от площадки на 1,5-7 м. Глиняный зуб заложен на глубину от 15 до 40 см. Водосборный лоток опущен на 5-8 см ниже поверхности площадки. Водосборная канава удалена на 1 м.

Площадка 13 находится правее пл. 12 на 12 м и оборудована инфильтрометром. Морфологическое описание почвенного профиля дано в разрезе № 3. Почва горнолесная тяжело-суглинистая, на основании глинистых сланцев. Раскопка площадки показала, что слой почвы до 40 см насыщен корнями растений, отмечено наличие крупных корней и значительные включения гальки.

В опыте 26-з инфильтрометр забивался на глубину 34 см при естественном состоянии поверхности; в повторных опытах удалялся верхний слой грунта: в опыте 29-з слой снятого грунта составил 39 см, а инфильтрометр был забит на глубину 16 см (55 см от поверхности); в опыте 32-з слой снятого грунта составил 75 см, инфильтрометр забит также на 16 см (нижняя граница кольца достигла глубины 91 см от поверхности); в опыте 58-з слой снятого грунта составил 105 см, а нижняя граница кольца находилась на глубине 122 см от поверхности. Площад-

ка расположена в 1 м от центра междурядья кустов фундука. Утечки воды в стороны от инфильтрометра в опытах не наблюдалось.

Площадки 15 и 22 расположены на границе участков 2 и 4, т.е. между плантацией и каштановым насаждением. Площадки удалены от кустов фундука на 3-5 м, от каштанника - на 5-7 м. Почва бурая горнолесная, тяжелосуглинистая на элювии бескарбонатных глинистых сланцев. Материнская порода - мягкий глинистый сланец (выветрившийся) и глина. Почвенный покров рыхлый, пронизан системой крупных и мелких корней. Поверхность покрыта спадом и редкой травяной растительностью. Состав внеярусной растительности типичен для участка.

На пл. 15, устанавливался инфильтрометр при снятом слое грунта; в опыте 31-з он составил 45 см и положение нижней границы инфильтрометра 65 см. В опыте 56-з соответственно 97 и 112 см.

Площадка 22 оборудовалась для искусственного дождевания глиняным зубом на глубину до 60 см.

Участок 3 (ольшатник ежевичный, заросшая прогалина)

Расположен в нижней части склона, почти у подошвы его, правее участка 1, рядом с пл. 2. Крутизна склона 20°, микрорельеф хорошо выражен. Отмечены следы слабой плоскостной эрозии. Почвообразующая порода - глина. В нижней части склона отмечен выход грунтовых вод. Условия увлажнения участка благоприятны для влаголюбивой растительности. Преобладающая древесная порода - ольха черная (10-15-летняя). Встречаются также айлант, дуб. Средняя высота деревьев 9 м, диаметр 10 см, сомкнутость полога 0,7 м. Подлесок - лещина, ежевика. Ежевика кавказская имеет здесь исключительно мощное развитие, высота ее достигает 5-6 м. Травяной покров представлен папоротником (страусопером, орляком) и др.Подстилка незначительная, мощностью до 0,5 см, рыхлая, прерывистая - листья, стебли, мелкие веточки и др. Переход к почве резкий. Таким образом, участок представляет собой интенсивно зарастающую лесной растительностью прогалину. Судя по остаткам лесной растительности правее участка, можно предположить,

что в прошлом здесь произрастал каштановый лес. На участке оборудована одна опытная пл. 8, площадью 85,3 м^2, типичная для всего участка.

Площадка 8 охватывает большую часть участка 3, расположена рядом с пл. 2, 3 (участок 1), имеет с ними общую границу. По нижней границе площадки заложен водосборный лоток, обмазанный глиной. Глубина лотка 20-25 см. Учет поверхностной составляющей стока производился по водосливу, установленному на пл. 2. Общая протяженность водосбросного лотка 22 м.

Участок 4 (каштанник лещиновый)

Расположен в .средней части склона I, несколько правее и выше участка 2. Высота над ур. моря порядка 80 м. Крутизна склона 15°, экспозиция северная. Почва - бурая горнолесная, тяжелосуглинистая, на элювии глинистых бескарбонатных сланцев (разрез №5). Физические свойства почвы хорошие. Отмечается большая мощность ее. Основной корнеобитаемый горизонт прослеживается до60-70 см, редко до 90-100 см. Тип леса - каштанник лещиновый, насаждение, каштана имеет состав: 4 Кш (110-130 лет), 6 Кш (30-50 лет), единично ольха (25-30 лет), граб. Высота старо-возрастных деревьев 28 м, диаметр-80 см, средневозрастных соответственно 23 м и 32 см. Полнота насаждения 0,4, сомкнутость крон 0,8. Форма крон шарообразная, раскидистая. Деревья первого яруса значительно поражены гнилями, на некоторых стволах водяные побеги. В подлеске - лещина высотой 3-4 м. Возобновление удовлетворительное (каштан 2-5 лет), преобладают экземпляры порослевого происхождения. Внеярусная растительность обильная (сассапариль, и др.). Травяной покров развит (папоротник, ежевика кавказская), высота 0,3-0,5 м.На участке установлено два инфильтрометра (пл. 23, 24**)** и малая дождевальная установка (пл. 26)**.**

Площадка 23 расположена в каштановом лесу, в нижней трети склона, в 15 м к югу от пл. 22**.** Расстояние от ближайших крупных деревьев 4,5м. Окружение каштаново-грабовый подрост. Почва типичная для склона, с большой мощностью горизонта А. Физические свойства благоприятные (разрез №5**).** Опыт проводился с помощью инфильтро-

метра со снятым слоем грунта до 100 см (опыт 60-э), при положении нижней границы кольца 133 см.

Площадка 24 находится на одной горизонтали с пл. 23, на 8 м правее, под кроной каштана диаметром 1,2 м. Окружена буковым и каштановым подростом. Перед опытом 61-з удалена подстилка (2-3 см) и снят слой грунта до 68 см. Глубина забивки кольца 15 см (положение нижней кромки 83 см). В опыте 68-з слой грунта снят до глубины 94 см, и положение нижней кромки кольца 114 см от поверхности.

Площадка 26 для искусственного дождевания выбрана в 5-6 м правее и выше по склону от пл. 24. Окружающий пл. 26 каштанник в значительной степени затронут хозяйственной деятельностью (прииско-вые рубки, сбор плодов). Справа от площадки (вниз по склону) на отдалении 2 м растет куст лещины высотой 5 м. Внизу на расстоянии 1м-подрост каштана порослевого происхождения, несколько левее - дерево черной ольхи диаметром 10 см.Подстилка рыхлая, маломощная (около 0,5 см), покрытие 95%, в составе преобладает опад каштана, ольхи, лещины. Травяной покров представлен единичным экземпляром папоротника высотой 0,3 м. Глиняный зуб был заложен до глубины 105 см. В опытах учитывалась поверхностная составляющая стока.

Склон II

Склон находится на 100-200 м выше по течению р. Шахе от склона I, в квартале 5б.Лооского лесничества Сочинского опытного лесхоза. Экспозиция его северо-западная, интервал высот от подошвы до вершины 45-110м, средняя крутизна - 30°.В отношении склон представляет собой сглаженный денудацией геоморфологическом левобережный эрозионный уступ р. Шахе. Состав коренных пород здесь отличается от склона тем, что кроме мергелей (до 78%) и песчаников (до 5%), встречаются прослои массивных известняков светло-серого цвета (до 17%).Почвообразующей и подстилающей породой является сравнительно плотный элювий указанных выше пород. На многих участках эти породы выходят на дневную поверхность в виде крупных глыб и сплошных плит, расположенных под разными углами залегания. Почвы - перегнойно-карбонатные, мало- и среднемощные, мощность их варьирует от

0до 80-120см.Ввиду того, что склон находится под интенсивным хозяйственным воздействием (прогон скота и выпас, самовольные рубки), он изрезан тропами, на которых почвенный покров отсутствует. Физические свойства почв удовлетворительные. Лесная растительность на склоне представлена сильно нарушенными вторичными древостоями с преобладанием грабинника. Сомкнутость древесного полога увеличивается от подошвы склона к вершине. В нижней части она не превышает 0,2, в верхней достигает 0,4-0,5.В составе подроста преобладает грабинник, реже встречается дуб. Ярус подлеска выражен (кизил, бирючина, боярышник, скумпия, держи-дерево, пираканта, самшит). Внеярусная растительность представлена колючими лианами (сессапариль), реже - ломоносом. Травяной покров обильный, густой, высотой до 40-50 см. На склоне II расположен участок 5, на котором были проведены опыты с искусственным дождеванием метровых и больших площадок.

Участок 5 является типичным для склона II. Расположен в нижней трети и на середине склона. Экспозиция СЗЗ. Крутизна склона изменяется в широких пределах (от 15 до. 40°). Микрорельеф выражен. Почва перегнойно-карбонатная, среднемощная, на элювии карбонатных пород. Материнская порода - элювий карбонатных глинистых сланцев (см. описание почвенных разрезов №6-10).В нижней части участка проводились опыты с дождеванием части склона площадью от 125 до 170 $м^2$ (пл. 14, 17, 19, 21, 25). Опыты по дождеванию малых площадок были поставлены в верхней части участка (пл. 16, 18, 20).

Площадка 14 расположена в части склона на гребне отрога, высота 10-15 м над поймой р. Шахе. Морфологическое описание почвенного профиля дано в разрезе № 6. В верхней и средней части площадка густо поросла деревьями и кустарником. Нижняя часть занята мелкими и редкими кустами. Сброс воды с площадки к водосливу осуществлялся по естественному понижению со скальным основанием. Почвенный слой удален.

Площадка 17 расположена на 5 м выше пл. 14. Вдоль нижней границы площадки обнажения мергеля высотой 1-1,5 м. Почвенный покров представлен разрезом № 7. Растительность -редина (грабинник,

кизил, боярышник и др.). Травяной покров густой. В середине площадки проходит зигзагообразная тропа со смытым почвенным покровом. Центр площадки без травяного покрова и древесно-кустарниковой растительности. Водосборный лоток длиной 13 м заложен у подножья обнажения, на скальном основании, промазан глиной. В опытах фиксировался преимущественно поверхностный сток.

Площадка 19 расположена рядом с пл. 17, слева от нее. По правой границе площадки проходит тропа, по которой во время опытов отмечен обильный сток. Почвенная характеристика дана в разрезе № 8. Растительность - типичная для склона. Водосборный лоток проходит по нижней границе- площадки по естественной тропе. Глубина лотка 15-20 см. Учет стока производился водосливом пл. 17. Общая длина водосбросной канавы 27,5 м. В опытах фиксировался преимущественно поверхностный сток.

Площадка 21 расположена правее пл. 17. Своей левой частью перекрывает пл. 17 примерно на 2 м ее ширины. Густо покрыта кустарниковой растительностью. В верхней части -молодые деревья грабинника высотой 4-6 м. Травяной покров густой - злаковое разнотравье. Водосборный лоток идет вдоль обнажения, на расстоянии 1,5-2 м от него. Между лотком и обнажением осыпная часть. Длина лотка около 14 м. В средней части площадка пересечена тальвегом глубиной до 30-40 см, поросшим кустарниковой и травяной растительностью. В опытах фиксировался преимущественно поверхностный сток.

Площадка 25 расположена правее пл. 21. На площадке слабо сомкнутые заросли грабинника с примесью дуба высотой. 5-10 м. В подлеске - самшит, кизил, пираканта, боярышник и др. Травяной покров густой, высотой 0,3-0,4 м. Преобладают злаки. Внеярусная растительность - сассапариль, ежевика кавказская. Почвенная характеристика дана в разрезе № 9. В верхней части почвенного профиля, (до 50 см) обилие крупных и мелких корней, наличие следов разложившихся корней. Водосборный лоток оборудован по нижней границе площадки, вдоль дороги. Длина его 12 м, глубина 15-20 см. Контактный сток выклинивался левее площадки, фронт выклинивания 8-10 м (опыты 62, 64,

66). Сток смешанный, фиксировался в опытах водосливом, установленным у дороги.

Площадка 16 расположена над пл. 21, в 15 м выше по склону. Окружена зарослями кизила и грабинника в возрасте 50-80 лет. Ближайшие деревья расположены в 1,5 м справа и вверху, а остальные Б двух-трех метрах от площадки. На площадке и по контуру ее злаковая растительность. Высота травяного покрова 20-30 см. Описание почвы дано в разрезе № 10. Глиняный зуб заложен на глубину 33-41 см. Водосборная яма удалена от площадки на 1 м. В опытах фиксировался поверхностный сток.

Площадка 18 расположена на 7 м левее и на 3 м выше пл. 16, По характеру растительности и почв аналогична пл. 16. Ближайшие деревья расположены в 2-3 м слева от площадки. Глиняный зуб глубиной 40 см. Водоприемник удален на 1 м от площадки. В опытах фиксировался поверхностный сток.

Площадка 20 расположена на 2 м выше пл. 18, на одной линии с пл. 19, в 20 м выше по склону. На площадке густая травяная растительность высотой 30 см, степень покрытия 95%.. Отмечается прошлогодний опад в виде войлока из листьев толщиной до 7 см. Верхний (до 5 см) слой почвы обильно пронизан корнями. Площадка окружена густыми зарослями кустарников. Ближайший кустарник в полутора метрах ниже площадки. Глиняный зуб глубиной 42 см. Водоприемник удален на 1 м от площадки. В опытах фиксировался поверхностный сток.

Склон III

Расположен на левом берегу р. Шахе, вблизи пос.Головинка, в квартале 12 б.Лооского лесничества Сочинского опытного лесхоза. Высота подошвы склона около 20 м над ур. моря, вершины - 270 м. Экспозиция СЗ-З, крутизна меняется от 10-12 до 35°. Верхняя половина склона покрыта сомкнутыми спелыми насаждениями с преобладанием каштана I-II класса бонитета. В геоморфологическом отношении участок приурочен к подножью левобережного склона долины р. Шахе и распо-

ложен в прибровочной части второй надпойменной террасы. Коренные породы на 85% состоят из мергелей и на 15% из алевролитов. Почвы бурые лесные, тяжелосуглинистые, щебенистые, на глинистом скелетном аллювии. На поверхности много мелких обломков мергелей. Физические свойства почв благоприятны. Основная масса корней сосредоточена в верхнем 40-см слое, здесь же обнаружены ходы землероев и следы отмерших корневых систем. Нижняя часть склона занята молодняком I-П класса возраста. Средний диаметр насаждений - 5 см, высота - 6 м. Распределение деревьев по площадке групповое, полнота 0,6, сомкнутость полога неравномерная (встречаются прогалины до 30-50 м^2). Подстилка рыхлая, небольшой мощности, покрывает около 70% площади. На склоне III проведены эксперименты по дождеванию площадок, покрытых молодняком (участок 6).

Участок 6 является типичным для склона III .Расположен в нижней части склона. Экспозиция СЗ-З, крутизне изменяется в пределах 10-15°. Почва - слабо эродированная бурая горнолесная, тяжелосуглинистая, на глинистом скелетном элювии. Участок занят молодняками Х-П класса возраста, возникшими после сплошной рубки. На участке заложено три площадки с искусственным дождеванием. Всего поставлено 10 опытов.

Площадка 28 находится в нижней части участка. Почва бурая лесная, тяжелосуглинистая. Верхний горизонт почвы (до 40 см) пронизан средними и мелкими корнями, на поверхности незначительный слой подстилки (1 см). Сброс воды к водосливу осуществлялся по естественному понижению. В опытах фиксировался преимущественно поверхностный сток.

Площадка 29 расположена в 10 м выше пл. 28 и также занимает нижнюю часть склона III. По рельефу это слабо выраженная ложбина с неглубоким тальвегом по центру площадки и представляет собой возобновившуюся лесосеку 15-летнего возраста. Почвенный и растительный покров идентичный пл. 28. Морфологическое описание почвенного профиля дано в разрезе 11. Водосборный лоток заложен в тальвеге на глубину 35 см. При дождевании поверхностного стока на площадке не на-

блюдалось.

Площадка 30 расположена правее пл. 29 на 3 м и выше пл. 28 на 15 м. По характеру растительности и почв она аналогична пл. 29. Расстояние до ближайших деревьев 2-3 м. Глиняный зуб глубиной 55 см. Водоприемник удален на 0,7 м от площадки. В опытах фиксировался поверхностный сток.

Склон IV

Расположен в 12 квартале б.Лооского лесничества Сочинского опытного лесхоза, .на левобережном склоне долины р. Шахе, у шоссейного моста в пос. Головинка. Подошва склона имеет отметки около 15 м над ур. моря. Экспозиция - СЗЗ, крутизна изменяется от 8 до 40°. Коренные породы представлены бескарбонатными глинистыми сланцами (до 90%) с прослоями алевролитов (до 10%). Почвы - слабо эродированные бурые горнолесные на глинистом скелетном элювии, среднемощные. До рубки участок был занят каштанником лещиновым. Склон занят расстроенным (с наличием усыхания) старо-возрастным каштановым насаждением. Эксперименты по искусственному дождеванию больших площадок (участок 7) проводились в нижней котловине, в которой после рубки созданы культуры каштана с размещением 2х2 м и вводом в междурядья кедра гималайского. Культуры находятся в сомкнутом состоянии (сомкнутость 0,9), средний диаметр их 8 см, высота 9 м, полнота 0,6. Кедр гималайский выпал (сохранились единичные угнетенные экземпляры по опушкам). Подстилка рыхлая сухая, слаборазложившаяся из-за выраженного микрорельефа и хозяйственной деятельности, размещение ее по площади неравномерное.

Участок 7 расположен в средней части склона IV. Экспозиция СЗ-З, крутизна изменяется в пределах 12-15°. Почвы бурые горнолесные на глинистом скелетном элювии. Участок представляет собой часть площади котловинной рубки, занятой каштаном и кедром гималайским. Здесь на пл. 31 поставлено два опыта.

Площадка 31 находится в нижней части участка. Почвы - слабо эродированные бурые лесные. Верхний горизонт почвы (до 30 см) насыщен средними и мелкими корнями. На поверхности незначительный

слой подстилки (1 см). Сброс воды с площадки к водосливу осуществлялся по естественному тальвегу. Лоток заложен на глубину 35 см. При дождевании поверхностного стока на площадке не было, фиксировался лишь сток по дренам от перегнивших корней.

В табл.22 приведены результаты изучения физических свойств почв в районе исследований.

Таблица 22 - Некоторые показатели физических свойств почв в районе проведения экспедиции

Местоположение взятия образца			№ № монолита	Глубина взятия образца	Объемн. вес, г/см^3	Удельн. вес г/см^3	Скелетность		Капиллярная влагоемкисть		Предельная полевая влагоемкость		Общая пороз-ность, %	Некапиллярная скважность ,%
склон	участок	площадка					в % по весу	в % по объему	в % по весу	в % по объему	в % по весу	в % по объему		
I	1	2	177	0-10	1,20	2,54	9,6	5,8	44,1	52,2	44,0	52,8	52,7	0,5 .
			220	0-10	1,22	2,57	7,6	4,2	46,2	56,2	47,6 .	57,0	57,5	1,3
			85	0-10	1,22	2,56	24	13,4	42,2	51,6	43,0	52,6	52,3	0,7
I	2	9	194	0-10	1,15	2,52	7,8	4,1	44,9	51,6	50,5	54,8	54,4	2,8
			155	0-10	1,13	2,65	7,0	3,5	44,6	50,4	46,6	52,7	57,3	6,9
			66	0-10	1,08	2,56	15	7,7	49,7	53,7	52,5	56,8	57,8	4,1
I	4	24	170	0-10	1.01	2,55	2,8	1,4	49,2	49,8	52,0	52,7	60,4	10,6
			159	0-10	0,95	2,58	2,5	1.1	54,9	52,3	66,0	63,0	63,1	10,8
П	5	16	158	2-12	1.13	2,41	19	1,0	38,8	43,7	40,4	45,8	53,1	9,4
			83	2-12	1.22	2,52	9,3	4,9	35,2	42,8	37,2	45,5	51,6	8,8
II	5	18	189	3-13	0.95	2,40	4,8	1,9	53,0	50,0	52,1	52,1	60,4	10,4
			89	3-13	0,96	2,44	8,6	3,9	52,5	.50,6	55,0	53,0	60,6	10,0
			19	15-25	1,16/	2,58	13	6,5	41,5	48,3	41,4	48,3	55,0	6,7
Ш	6	29	211	1-11	1.14	2,62	6,7	3,2	37,0	42,3	43,9	50,3	56,4	14,1
			208	1-11	1,08	2,52	7,0	3,4	38,8	42,0 '	47,0	51,0	57,1	15,1
III	6	30	79	1-11	1.22	2,61	10	6,4	34,9	42,9-	41,2	50,4	53,3	10,4

5.2.5 Описание и результаты опытов

Экспедиционные исследования были посвящены главным образом постановке опытов по искусственному дождеванию участков склонов и определению впитывания с помощью инфильтрометров. При этом ставилась цель охватить опытами разнохарактерные участки, типичные для приморской полосы Кавказа. Повторность опытов планировалась небольшая. Проведенные эксперименты позволяют сделать ряд выводов о генезисе паводкового стока, о формировании потерь и их величине.

В таблице 23 приводятся основные результаты опытов - сведения о слоях осадков и стока, коэффициентах стока (в целом за дождь и максимальный мгновенный), минимальные интенсивности потерь перед концом опыта.

В таблице 24 дается также оценка доли контактного (дренажного) стока в общем, а в таблице 25 - результаты подсчета скоростей добегания волны стока. Координаты инфильтрационных кривых (кривых потерь) по материалам стоковых площадок не приводятся, так как они легко могут быть получены как разности дождя и стока, сдвинутые во времени назад на некоторую величину, равную полусумме времени добегания и времени наполнения водомера (Бефани, Урываев и др., 1966).

Полученная таким способом кривая потерь трансформируется в кривую инфильтрационной способности путем переноса начала координат в точку, где объем потерь по расчетной кривой за время от расчетного начала координат до начала стока равнялся количеству поданной воды. Подробно об этом излагается в работах А. Н.Бефани, 1966; Н.Ф. Бефани и др., 1967. Инфильтрометры (при условии быстрого залива воды) дают непосредственно кривую инфильтрационной способности.

Ниже приводится краткая характеристика выполненных экспериментов по участкам и некоторые обобщающие выводы.

Таблица 23 - Основные сведения о проведенных экспериментах

№№ опытов	Дата	Время, час. мин.		№ площадки	Площадь, $м^2$	Уклон	Номер		Характер опыта
		начало опыта	конец опыта				склона	участка	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-з	307 V1	13-20	11-17	1	0,1	-	1	1	залив
2	30/V1	13-40	14-58	2	216	0,568	L	1	дождев.
3-з	30/V1	13-52	17-26	3	0,1	' -	1	1	залив
4	30/V1	16-20	18-00	2	216	0,568	1	1	дождев..
5	30/V1	16-25	17-10	4	1,44	0,250	1	1	дождев.
6	1/VII	9-40	10-49	4	1,44	0,250	1	1	дождев.
7-з	1/VII	10-15	13-24	5	0,1	-	1	1	залив
8	1/VII	10-25	12-17	2	216	0,568	1	1	дождев.
9	1/VII	12-37	13-30	6	1,1	0,490	1	2	дождев.
11-з	1/VII	13-25	15-40	7	0,1	-	1	2	залив
11	1/VII	13-45	15-13	8	85,3	0,173	1	3	дождев.
12	1/VII	15-40	17-10	8	85,3	0,173	1	3	дождев.
13-з	1/VII	15-54	16-53	9	0,1	-	1	2	залив
14	1/VII	16-35	17-33	6	1,1	0,490	1	2	дождев.
15-з	1/VII	16-30	17-10	10	0.1	-	1	2	залив
16	2/VII	12-14	13-10	6	11	0,490	1	2	дождев.
17-з	2/VII	13-02	15-54	9 xx)	0,1	-	1	2	залив
18	2/VII	13-30	15-25	11	135,2	0,062	1	1	дождев.
19-з	2/VII	13-47	15-55	10	0,1	-	1	2	залив
20	3/VII	10-34	11-26	12	1,0	0,370	1	2	дождев.
21	3/VII	10-40	12-09	11	135,2	0,062	1	1	/ождев.

Продолжение таблицы 23

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22-з	3/VII	12-00	14-53	9	0,1	-	1	2	залив
23-з	3/ VII	12-35	15-00	10	0,1	-	1	2	залив
24	3/ VII	13-30	14-33	12	1,0	0,370	1	2	дождев.
25	3/ VII	15-16	15-59	12	1,0	0,370	1	2	дождев.
26-з	3/ VII	16-25	17-25	13	0,1	-	1	2	залив
27-з	3/ VII	16-34	13-44	9	0,1	-	1	2	залив
28	4/ VII	10-45	12-10	14	125	0,294	II	5	дождев.

29-з	4/ VII	10-55	16-11	13	0,1	-	1	2	залив
30	4/ VII	12-23	14-33	14	125	0,294	II	5	дождев.
31-з	4/ VII	16-37	18-03	15	0,1	-	1	2,4	залив
32-з	4/ VII	16-47	18-05	13	0,1	-	1	2	залив
33	4/ VII	17-13	18-07	16	1,0	0,450	II	5	дождев.
34	5/ VII	9-45	10-45	16	1,0	0,450	11	5	дождев.
35	5/ VII	11-25	12-58	17	115	0,493	II	5	дождев.
36	5/ VII	13-00	13-56	16	1,0	0,450	II	5	дождев.
37	5/ VII	16-45	18-35	17	115	0,493	II	5	дождев.
38	6/ VII	9-40	13-57	18	1,0	0,520	II	5	дождев.
39	6/ VII	9-45	11-29	17	115	0,493	II	5	дождев.
40	6/ VII	11-30	13-20	17	115	0,493	II	5	дождев.
41	6/ VII	11-45	13-00	18	1,0	0,520	II	5	дождев.
42	6/ VII	13-20	13-47	18	1,0	0,520	II	5	дождев.
43	6/ VII	13-20	15-00	19	162	0,226	II	5	дождев.
44	9/ VII	11-32	13-02	19	162	0,226	II	5	дождев.
45	9/ VII	13-07	15-12	19	162	0,226	II	5	дождев.
46	9/ VII	16-40	18-20	19	162	0,226	II	5	дождев.
47	9/ VII	17-10	18-57	20	1,20	0,530	II	5	дождев.

Продолжение таблицы 23

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
48	10/ VII	9-20	11-50	21	170	0,656	II .	5	дождев.
49	10/ VII	9-31	10-45	20	1,20	0,530	II	5	дождев.
50	10/ VII	12-30	15-40	21	170	0,656	II	5	дождев.
51	10/ VII	13-04	14-15	20	1,20	0,530	II	5	дождев.
52	10/ VII	15-36	17-03	20	1,20	0,530	II	/5	дождев.
53	11/ VII	9-05	11-51	21	170	0,656	II	5	дождев.
54	11/ VII	12-00	15-18	21	170	0,656	II	5	дождев.
55	11/ VII	15-35	16-31	22	118	0,390	1	2,4	дождев..
56-з	12/ VII	9-55	12-06	!5	0,1	-	1	2,4	залив
57	12/ VII	10-00	11-01	22	1,18	0,390'	1	2,4	дождев.
58-з	12/ VII	11-20	13-40	13	0,1	-	1	2 '	залив
59	12/ VII	12-00	13-40	22	1,18	0,390	1	2,4	дождев.
60-э	13/ VII	9-35	12-46	23	0,1	-	1	4	залив
61-3	13/ VII	10-00	13-00	24	0,1	-	1	4	залив
62	13/ VII	12-40	15-45	25	159	0,596	II	5	дождев.
63	13/ VII	15-19	16-10	26	1,09	0,320	1	4	дождев.
64	13/ VII	15-50	18-06	25	159	0,596	II	5	дождев.
65	13/ VII	16-18	17-22	26	1,09	0,320	1	4	дождев.

66	14/ VII	9-00	12-20	25	159	0,596	II	5	дождев.
67	14/ VII	9-42	10-50	26	1,09	0,320	1	4	дождев.
68-з	14/ VII	9-57	12-40	24	0,1	-	1	4	залив
69	14/ VII	11-22	12-09	26	1,09	.0,320	1	*А*	дождев.
70	14/ VII	12-55	13-44	26	1,09	0,320	1	4	дождев.
71	14/ VII	14-52	16-01	26	1.09	0,320	1	4	дождев.
72	14/ VII	16-20	18-15	28	152	0,436	Ш	6	дождев.
73	16/ VII	9-20	11-17	28	152	0,436	III	6	дождев.
74	16/ VII	11-30	13-40	28	152	0,436	III	6	дождев.

Склон I

Как указывалось, на склоне I были изучены четыре участка: луговая прогалина в лесу, зарастающая кустарником, плантация фундука, густой молодой ольшатник - следствие зарастания прогалины. и спелое каштановое насаждение, ранее пройденное выборочной рубкой. До того. как склон был освоен хозяйственной деятельностью человека, он был занят каштановым лесом.

Участок 1 характеризует собой площади, где лес был уничтожен полностью. В настоящее время он используется под выпас (за исключением труднопроходимых зарослей кустарника). Почвенные условия здесь наихудшие на всем склоне, объемный вес поверхностного слоя почвы достигает 1,20-1,22 г/см^3. Поверхность почвы на этом участке существенно уплотнена, травяной покров развит (проективное покрытие 0,8-0,9), но интенсивно стравливается скотом.

Большие пл. №2 и 11, заложенные на участке, дали картину образования интенсивного поверхностного стока. Уже в первом дождевании при относительно сухой почве (влажность почвы 37%) поверхностный сток появился спустя две минуты после начала дождя (опыт 2), т.е. после поглощения всего 3 мм влаги и уже к 18-20 мин. дождя мгновенный коэффициент стока достиг 0,73 при интенсивности поверхностного впитывания 0,42 мм/мин. Сток первоначально носил выборочный характер, развиваясь по микротальвегам, проработанным ливневыми водами, но уже к 10 мин. он стал сплошным, хотя на участках с наличием кустарниковой растительности по визуальной оценке был более слабым,

чем на остальной площади. При последующих дождеваниях коэффициент стока неуклонно повышался: максимальный мгновенный коэффициент от 0,73 в первом до 0,84 в третьем опыте, а общий (объемный) - от 0,60 до 0,77. Интенсивность впитывания в связи с увлажнением почвы снизилась от 0,42 в первом опыте до 0,23 мм/мин к концу 3-го опыта. Выходы контактного стока не были зарегистрированы ни в одной из сборных траншей. Лишь местами наблюдалось некоторое увеличение влажности стенок траншей. Таким образом, в данном случае можно говорить только о следах контактного, стока, и приведенные в таблице 24 цифры потерь следует рассматривать как поверхностное впитывание. На пл. 11 был отмечен несколько меньший сток: коэффициент стока - 0,57 в 1-м и 0,76 во 2-м опыте, при впитывании в конце второго опыта 0,40 мм в минуту.

Таблица 24 - Сводные результаты опытов по искусственному дождеванию малых площадок с помощью дождевальной установки

№№ опытов	Дата	Время, час. мин.		№пло-щадки	Площадь, м^2	Уклон	Номер		Характер опыта
		начало опыта	конец опыта				склона	участка	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-з	307 V1	13-20	11-17	1	0,1	-	1	1	залив
2	30/V1	13-40	14-58	2	216	0,568	L	1	дождев.
3-з	30/V1	13-52	17-26	3	0,1	' -	1	1	залив
4	30/V1	16-20	18-00	2	216	0,568	1	1	дождев..
5	30/V1	16-25	17-10	4	1,44	0,250	1	1	дождев.
6	1/VII	9-40	10-49	4	1,44	0,250	1	1	дождев.
7-з	1/VII	10-15	13-24	5	0,1	-	1	1	залив
8	1/VII	10-25	12-17	2	216	0,568	1	1	дождев.
9	1/VII	12-37	13-30	6	1,1	0,490	1	2	дождев.
11-з	1/VII	13-25	15-40	7	0,1	-	1	2	залив
11	1/VII	13-45	15-13	8	85,3	0,173	1	3	дождев.
12	1/VII	15-40	17-10	8	85,3	0,173	1	3	дождев.
13-з	1/VII	15-54	16-53	9	0,1	-	1	2	залив
14	1/VII	16-35	17-33	6	1,1	0,490	1	2	дождев.
15-з	1/VII	16-30	17-10	10	0.1	-	1	2	залив
16	2/VII	12-14	13-10	6	11	0,490	1	2	дождев.
17-з	2/VII	13-02	15-54	9 xx)	0,1	-	1	2	залив
18	2/VII	13-30	15-25	11	135,2	0,062	1	1	дождев.
19-з	2/VII	13-47	15-55	10	0,1	-	1	2	залив
20	3/VII	10-34	11-26	12	1,0	0,370	1	2	дождев.
21	3/VII	10-40	12-09	11	135,2	0,062	1	1	/ождев.

Продолжение таблицы 24

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22-з	3/VII	12-00	14-53	9	0,1	-	1	2	залив
23-з	3/ VII	12-35	15-00	10	0,1	-	1	2	залив
24	3/ VII	13-30	14-33	12	1,0	0,370	1	2	дождев.
25	3/ VII	15-16	15-59	12	1,0	0,370	1	2	дождев.
26-з	3/ VII	16-25	17-25	13	0,1	-	1	2	залив
27-з	3/ VII	16-34	13-44	9	0,1	-	1	2	залив
28	4/ VII	10-45	12-10	14	125	0,294	II	5	дождев.
29-з	4/ VII	10-55	16-11	13	0,1	-	1	2	залив
30	4/ VII	12-23	14-33	14	125	0,294	II	5	дождев.
31-з	4/ VII	16-37	18-03	15	0,1	-	1	2,4	залив
32-з	4/ VII	16-47	18-05	13	0,1	-	1	2	залив
33	4/ VII	17-13	18-07	16	1,0	0,450	II	5	дождев.
34	5/ VII	9-45	10-45	16	1,0	0,450	11	5	дождев.
35	5/ VII	11-25	12-58	17	115	0,493	II	5	дождев.
36	5/ VII	13-00	13-56	16	1,0	0,450	II	5	дождев.
37	5/ VII	16-45	18-35	17	115	0,493	II	5	дождев.
38	6/ VII	9-40	13-57	18	1,0	0,520	II	5	дождев.
39	6/ VII	9-45	11-29	17	115	0,493	II	5	дождев.
40	6/ VII	11-30	13-20	17	115	0,493	II	5	дождев.
41	6/ VII	11-45	13-00	18	1,0	0,520	II	5	дождев.
42	6/ VII	13-20	13-47	18	1,0	0,520	II	5	дождев.
43	6/ VII	13-20	15-00	19	162	0,226	II	5	дождев.
44	9/ VII	11-32	13-02	19	162	0,226	II	5	дождев.
45	9/ VII	13-07	15-12	19	162	0,226	II	5	дождев.
46	9/ VII	16-40	18-20	19	162	0,226	II	5	дождев.
47	9/ VII	17-10	18-57	20	1,20	0,530	II	5	дождев.

Продолжение таблицы 24

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
48	10/ VII	9-20	11-50	21	170	0,656	II .	5	дождев.
49	10/ VII	9-31	10-45	20	1,20	0,530	II	5	дождев.
50	10/ VII	12-30	15-40	21	170	0,656	II	5	дождев.
51	10/ VII	13-04	14-15	20	1,20	0,530	II	5	дождев.
52	10/ VII	15-36	17-03	20	1,20	0,530	II	/5	дождев.
53	11/ VII	9-05	11-51	21	170	0,656	II	5	дождев.
54	11/ VII	12-00	15-18	21	170	0,656	II	5	дождев.
55	11/ VII	15-35	16-31	22	118	0,390	1	2,4	дождев..
56-з	12/ VII	9-55	12-06	!5	0,1	-	1	2,4	залив
57	12/ VII	10-00	11-01	22	1,18	0,390'	1	2,4	дождев.
58-з	12/ VII	11-20	13-40	13	0,1	-	1	2 '	залив
59	12/ VII	12-00	13-40	22	1,18	0,390	1	2,4	дождев.
60-э	13/ VII	9-35	12-46	23	0,1	-	1	4	залив
61-з	13/ VII	10-00	13-00	24	0,1	-	1	4	залив
62	13/ VII	12-40	15-45	25	159	0,596	II	5	дождев.
63	13/ VII	15-19	16-10	26	1,09	0,320	1	4	дождев.
64	13/ VII	15-50	18-06	25	159	0,596	II	5	дождев.
65	13/ VII	16-18	17-22	26	1,09	0,320	1	4	дождев.
66	14/ VII	9-00	12-20	25	159	0,596	II	5	дождев.
67	14/ VII	9-42	10-50	26	1,09	0,320	1	4	дождев.
68-з	14/ VII	9-57	12-40	24	0,1	-	1	4	залив
69	14/ VII	11-22	12-09	26	1,09	.0,320	1	А	дождев.
70	14/ VII	12-55	13-44	26	1,09	0,320	1	4	дождев.
71	14/ VII	14-52	16-01	26	1.09	0,320	1	4	дождев.
72	14/ VII	16-20	18-15	28	152	0,436	Ш	6	дождев.
73	16/ VII	9-20	11-17	28	152	0,436	III	6	дождев.
74	16/ VII	11-30	13-40	28	152	0,436	III	6	дождев.

Указанное сокращение стока связано с двумя причинами - малым уклоном, который на пл. 11 втрое меньше, чем на пл. 2, и несколько большим распространением кустарников. Однако заметный контактный сток и на этой площадке обнаружен не был. Видимо, макропоры, оставленные корнями произраставшего ранее насаждения, в настоящее время уже в значительной степени заилены. Наличие поверхностного характера стекания позволило шире использовать малые площадки и инфильтрометры, учитывающие только поверхностное впитывание. Закладку опытов удалось произвести на возвышенных участках склона, где дождевание больших площадок было затруднительно по техниче-

ским причинам.

Таблица 25 - Сводные данные о впитывании и коэффициенте стока по результатам дождевания больших площадок

Площадка №№	размер, м²	уклон	№№ опыта	Дата	Начало опыта, час. мин.	Продолжительность дождя, мин	Суммарные за опыт: осадки, мм	Суммарные за опыт: сток, мм	Средний коэффициент стока	Минимальная интенсивность дождя, мм/мин	Минимальная интенсивность впитывания, мм/мин	Максимальный Коэффициентстока	Глубина глиняного зуба
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
Склон I,участок 1													
4	1,44	0,250	5 '	30/VI	16.25	45	54,4	39,7	0,73	1,08	0,00	1,00	130-150
			6	1/ VI	9.40	45	35,7	31,9	0,89	0,79	' 0,00	1,00	130-15С
Склон I участок 2													
6	1,1	0,490	9	1/VII	12.37	53	50,1	32,1	0,64	0,93	0,30	0,68	35
			14	1/ VII	16.35	50	23,9	16,7	0,70	0,34	0,08	0,76	35
			16	2/ VII	12.14	45	28,4	16,7	0,59	-	-	-	35
12	1.0	0,370	20	3/ VII	10,34	47	50,3	14,3	0,28	0,96	0,59	0,39	40
			24	3/ VII	13.30	60	50,9	22,0	0,43	0,85	0,40	0,53	40
			25	3/ VII	15.16	43	37,4	16,1	0,43	0,79	0,39	0,51	40
Склон Іна границе участков 2 и4													
22	1,18	0,,390	55	11/ VII	15.35	1.16	75,9	0,43	0,01	0,68	0,68	0,01	60
			57	12/ VII	10.00	61	77,8	1,48	0,02	1,20	1,16	0,03	60
			59	12/ VII	12.00	96	121,0	5,1	0,04	1,38	1,30	0,06	60
Склон I, участок 4													
26	1,09	0,320	63	13/ VII	15.19	47	56,1	8,3	0,15	0,93	0,72	0,23	105
			65	13/ VII	16.18	59	41,9	4,8	0,11	0,71	0,63	0,11	105
			67	14/ VII	9.42	68	33,4	3,0	0,09	0,48	0,42	0,12	105
			69	14/ VII	11.22	50	94,4	9,4	0,10	1,82	1,70	0,07	105
			70	14/ VII	12.55	47	90,0	12,8	0,14	1,61	1,34	0,17	Ш5
			71	14/ VII	14.52	66	33,0	3,5	0,11	0,49	0,42	0,14	105
Склон II, участок 5													
16	1,00	0,450	33	4/ VII	17.13	53	39,9	20 ,0.	0,65	0,67	0,17	0,84	33-41
			34	5/ VII	9.45	59	49,2	35,6	0,73	0,72	0,05	0,94	33-41
			36	5/ VII	13.00	52	42,3	34,3	0,81	0,72	0,02	0,97	33-41
18	1,00	0,520	38	6/ VII	9.40	48	74,4	6,3'	0,08	1,50	1,25.	0,17	40
			41	6/ VII	11.45	48	24,0	17,5	0,73	0,62	.0,15	0,76 .	40
			42	6/ VII	13.20	27	28,7	14,0	0,49	0,95	0,25	0,74	40
20	1,20	0,530	47	9/ VII	17.10	81	50,5	16,8	0,33	0,62	0,20	0,68	68
			49	10/ VII	9.31	64	49,5	32,0	0,65	0,74	0,14	0,81	68
			51	10/ VII	13.04	62	57,7	45,7	0,79	0,94	0,09	0,94	42
			52	10/ VII	15.36	74	60,0	43,8	0,73	0,87	0,14	0,84	42
Склон Ш, участок 6													
30	1,04	0,286	77	17/ VII	12.35	70	52,5	5,8	0,11	0,75	0,68	0,09	44
			78	17/ VII	15.25	57	88,5	10,0	0,11	1,75	1,40	0,10	44
			79	17/ VII	16.58	56	56,6	32,7	0,58	0,86	0,76	0,12	44
			80	18/ VII	9.20	63	40,0	*6,9*	0,10'	0,69	0,62	0,10	44
			82	18/ VII	11.15	62	113,6	28,5	0,25	1,92	1,38	0,28	44

Таблица 26 - Сводные данные о впитывании и коэффициенте стока по результатам дождевания больших площадок

Площадка			Номер, опыта	Дата	Начало опыта, час. мин.	Продол-жит. дождя, мин.	Суммарные за опыт, мм		Сред-ний коэфф. стока	Минимальная интенсивность,, отнесен к пло-щади орошения		Наблю-ден, макси-мальный коэф-фициент стока
номер	Размер, м^2	уклон					осадки	стек		дождя	впи-тыв.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Склон I,участок1												
2	216	0,568	2	30/VI	13.40.	45	63,0	37,8	0,60	1,57	0,42*	0,73
			4	30/ VI	16.20	41	56,9	40,1	0,70	1,64	0,32	0,80
			8	1/VII	10,25	45	62,8	48,6	0,77	1,41	0,23	0,84
11	135,2	1,,062	18	2/VII	13.30	45	96,4	43,7	0,45	2,16	0,92	0,57
			21	3/VII	10.40	46	80,4'	48,8	0,61	1,70	0,40	0,76
Склон I, участок 3												
8	85,3	0,173	11	1/VII	13.45	45	156,0	57,5	0,37	3,44	1,74	0,49
			12	1/VII	15.40	40	.140,0	60,9	0,43	3,50	1,68	0,52
Склон II, участок 5												
14	125	0,294	28	4/ VII	10.45	45	108	70,5	0,65	2,43	0,52	0,79
			30	4/ VII	12.23	45	109	84,3	0,77	2,42	0,30	0,88
17	115	0,493	35	5/ VII	11.25	50	119	67,3	0,57	2,37	0,66	0,72
			37	5/ VII	16.45	54	108	65,8	.0,63	1,04	0,68	0,65
			39	6/ VII	9.45	70	142	95,0	0,67	2,01	0,47	0,77
			40	6/ VII	11.30	55	104	71,4	0,69	2,51	0,60	0,76
19	162	0,226	43	6/ VII	13.20	46	84,6	40,6	0,48	1,85	0,60	0,68
			44	9/ VII	11.32	60	110	56,7	Q.52	1,85	0,5-7	0,69
			45	9/ VII	13.07	60	83,4	55,6	0,68	1,29	0,36	0,72
			46	9/ VII	16.40	60	105	67,7	0,64	1,75	0,53	0,70
21	170	0,656	48	10/ VII	9.20	65	116	31,1	0,27	1,79	1,03	0,42
			50	10/ VII	12.30	60	.83,4	30,1	0,36	1,39	0,80	0,42
			53	11/ VII	9,05	65	106	40,2	0,38	1,57	0,84	0,46
			54	11/ VII	12.00	60	95,4	42,5	0,45	1,59	0,83	0,48
25	159	0,596	62	13/ VII	12.40	90	167	30,8	0,18	1,86	1,27	0,32
			64	13/ VII	15.50	50	91,0	30,9-	0,34	1,82	1,11	0,39
			66	14/ VII	9.00	85	156	40,3	0,26	1,55	1,00	0,36
Склон III, участок 6												
28	152	0,436	72	14/ VII	16.20	75	118	17,0	0,14	1,57	0,95	0,40
			73	16/ VII	9.20	85	112	25,9	0,23	1,60	0,92	0,42
			74	16/ VII	11.30	65	105	45,5	0,43	1,61	0,76	0,53
29	130	0,460	75	16/ VII	17.11	84	131	5,55	0,04	1,56	1,39	0,11
			76	17/ VII	10.00	124	152	8,68	0,06	1,55	1,40	0,10
Склон IV, участок 7												
31	0,229	77	81	18/ VII	10.35	62	238	10,2	0,04	2,00	1,78	0,11
			83.	18/ VII	13.45	75	153	30,6	0,20	2,04	1,49	0,27
			84	18/ VII	. 16.20	60	131	25,7	0,20	2.08[1]	1,52	0,27

Несколько выше больших площадок, посредине прогалины, вдали от групп кустарников на уплотненной почве при большом уклоне, т.е. в условиях, благоприятствующих стоку, были заложены малые площадки и инфильтрометры в четырех пунктах. Впитывание (К) получилось крайне слабым, но сильно варьирующим по площади. На пл. 4 в первом опыте К = 0,18 и всего 0,01 мм/мин во втором. Эти стабильные интенсивности установились очень быстро - за 16 мин. в первом и за 10 мин. во втором опыте, после впитывания слоя воды 7,5 мм.

В инфильтрометрах минимальное за опыт впитывание чрезвычайно сильно варьировало: от 0,0005 мм/мин на пл. 1, до 1,12 мм/мин на пл. 3. Эти данные отражают колебания микроусловий по площади: очевидно, пл. 1,4 и 5 оказались на уплотненных участках поверхности с закольматированными макропорами, а пл; 3 под инфильтрометром оказалась дренированной какими-то макропорами, вероятнее всего, ходами истлевших корней.

Довольно многочисленные опыты на участке 2 (плантация фундука) показали еще большую вариацию локальных условий по площади. По данным инфильтрометров, минимальная интенсивность инфильтрации при нижней кромке прибора, опущенной до глубины более 1 м, варьирует от стотысячных долей мм/мин (пл. 9) до 1,02 мм/мин (пл. 10). Опыты с установкой прибора на поверхности почвы дали более высокие значения конечной интенсивности - до 6,5-9,5 мм/мин. Однако, это в какой-то мере связано с боковым растеканием по макропорам поверхностного слоя, подходящим к нижней кромке прибора.

Впитывание на малых площадках получилось более устойчивым по площади, но также изменялось от одной площадки к другой в 5 раз. Существенно варьирует и коэффициент стока (общий от 0,28 до 0,64 в первом опыте и от 0,43 до 0,70 - во втором, при мгновенном максимуме соответственно 0,68 и 0,76). В общем же впитывающая способность почв, занятых фундучной плантацией, по сравнению с лесной прогалиной, используемой под выпас, несколько выше, а сток - менее интенсивен. Это объясняется наличием в профиле почв достаточно мощных корневых систем фундука, остатков истлевших корней, а также рыхле-

нием приствольных кругов. Очень большая вариация впитывания по площади связана с пестротой сложения почв, включающей в себя как уплотненные участки между кустами фундука, так и рыхлые - под кронами.

Важно отметить, что опыты на открытых участках склона I. показали близкое к нулю впитывание почво-подстилающим слоем (интенсивности до десятитысячных и стотысячных долей мм/мин). Как видим, на участках, подобных 1 и 2 (поляны с кустарником, плантации ореха), поверхностный. сток может быть весьма значительным, вызывая при сильных дождях селевые паводки.

На лесных участках склона I (в каштановом лесу и густом ольшатнике) была получена иная картина стока и впитывания. В густом ольшатнике на большой пл.8 контактный сток в измеримых количествах не был зафиксирован. Возможно, это связано с недостаточной продолжительностью опытов (дважды по 40-45 мин.), а также с возможным жильным дренажем в стороны. Однако относительно высокие коэффициенты учтенного поверхностного стока (0,49-0,52) показывают, что едва ли контактный сток на подобных лесных участках может превысить 10-20%. Полученные интенсивность потерь (в среднем 1,7 мм/мин) в данном случае характеризуют поверхностное впитывание, так как был учтен только поверхностный сток. Эта величина отвечает большой интенсивности дождя (до 3,5 мм/мин), с уменьшением последней интенсивности потерь, разумеется, сократится, но все же поверхностное поглощение воды в густых ольшатниках остается весьма значительным. В каштановом насаждении (участок 4) объемный вес верхнего 10-см слоя почвы невелик (0,98 г/см3); некапиллярная скважность значительна (10,7%), поэтому поверхностное впитывание здесь довольно значительное (до 1,7 мм/мин при сильных ливнях). При слабых дождях оно уменьшается до 0,42 мм/мин при коэффициенте поверхностного стока от 0,07 до 0,23. Однако с глубиной (а значит и во времени) после длительного дождя инфильтрация падала до 0,04 мм/мин (пл. 2, 4). Очевидно, здесь величины контактного стока более значительны, чем в ольшатнике. Но очень низкие коэффициенты фильтрации на глубинах

свыше метра и отсутствие промытого дренирующего слоя по контакту с глиной свидетельствуют о возможности появления подпертого поверхностного стока, хотя и редкого, но способного образовать высокие паводки. В общем же сомкнутые каштановые насаждения, пройденные выборочными рубками, и в прибрежной полосе сохраняют свою паводко-регулирующую роль, хотя их благотворное влияние на гидрологический режим, очевидно, не столь велико, как отмечалось нами для лесов, удаленных от побережья.

Склон II

Опыты на склоне II (производные древостой, сильно нарушенные рубками и выпасом скота) показали очень пеструю картину стока. Наибольший интерес представляют опыты на больших площадках (№ 14, 17, 19,21 и 25), по материалам которых можно оценить долю контактного стока. На **пл. 14** фиксировался почти исключительно поверхностный сток, что объясняется наличием троп, изреженностью древостоя (грабинник) и куртинным размещением травяного покрова и кустарников. Тропы превратились в эрозионные тальвеги, концентрирующие поверхностный сток. Водоупор (глинистый мергель) расположен неглубоко и местами выходитна поверхность площадки.

В связи с закольматированностью почвы на прогалинах контактный сток может образоваться только в кустарниковых куртинах, но он в значительной степени сразу же выклинивается в соседние микротальвеги поверхностного стока. Только небольшая часть контактных вод может достигнуть конца площадки. Действительно, только во втором опыте на пл. 14 было обнаружено нечеткое выклинивание воды на участке шириной 30 см при глубине выхода около 50 см. Расход этого потока измерить не удалось, общий же объем контактного стока был определен по гидрографу общего стока на основании записей о времени появления контактного и прекращения поверхностного стекания. Из теории известно, что максимум контактного стока достигается к концу водообразования (дождя) и остается практически неизменным до прекращения поверхностного сока, а кривая подъема стока имеет несколько выпуклое очертание, приближаясь к полукубической параболе. Эти

предпосылки позволяют определить объем контактного стока графически (Бефани и др., 1967). Подобные построения привели к значениям контактного стока на пл. 14 порядка всего лишь 1-2%. Таким образом, отмеченная в опыте 30 интенсивность потерь (0,28 мм/мин) характеризует поверхностное впитывание. Установившаяся величина впитывания еще меньше и не превышает 0,2 мм/мин. На пл. 14 зафиксированы очень высокие коэффициенты стока - до 0,8 в первом и почти 0,9 во 30 втором опытах. Эти цифры отвечают очень высокой, почти предельной, интенсивности дождя (2-2,5 мм/мин). Приведенные данные свидетельствуют о возможности образования большого поверхностного притока с участков лесных склонов, находящихся под интенсивным воздействием.

Пл. 17 и 19 репрезентуют условия, менее благоприятные для формирования поверхностного стока. Древесно-кустарниковая растительность (грабинник, кизил, боярышник и др.), хотя и занимает всю площадь, но изрежена - травяной покров густой, имеется моховая подстилка. На этих площадках проходят тропы со смытым почвенным покровом, имеются участки с уплотненной почвой, выбитой дерниной, угнетенным травостоем. Мощность почвенного слоя больше, чем на пл. 14. На пл. 17 и 19 также был отмечен преимущественно поверхностный сток (в среднем 90% от общего). Контактный сток наблюдался по всей ширине учетной траншеи, но был мало интенсивным. Вода поступала по редким дренам и трещинам, вдоль корней, из подстилки. Поверхностное впитывание оказалось более высоким, чем на пл. 14, только в третьем опыте на пл. 17 оно упало до 0,29 мм/мин. Причем эта цифра еще требует небольшой поправки, учитывающей величину контактного стока, т.е. она может быть на 10% выше. Коэффициент стока здесь ниже, не более 0,77. Однако, хотя на пл. 17-19 интенсивности впитывания оказались и более высокими, порядок их величин таков, что возможность обильного поверхностного стоки от ливней не оставляет сомнений.

Пл. 21 и 25 репрезентуют иные условия. Они заняты густыми кустарниковыми зарослями и слабо сомкнутым древостоем из грабинника с примесью дуба, самшита и других пород. Здесь широко представлена внеярусная растительность. В местах, где сомкнутость древостоя

невелика, развит густой травяной покров. Почвы достаточно рыхлые - объемный вес около единицы, некапиллярная скважность 9,4-10,4%, поэтому поверхностное впитывание велико - в среднем около 1 мм/мин. Высокое впитывание на больших площадках, вероятно, связано с наличием в густых зарослях участков с провальным поглощением воды. Действительно, на открытых участках этой части склона, где были установлены малые пл. 16, 18 и 20, поверхностное впитывание оказалось очень низким - во втором и третьем опытах от 0,02 до 0,25 мм/мин. В то же время наличие указанных "окон* поглощения, отдельных макропор, объясняет возникновение на пл. 21 и 25 наряду с поверхностным так же и контактного стока, который достиг 50% и более - на пл. 21 и около 70% - на пл. 25. Итак, крутые склоны с нарушенными древостоями вторичного происхождения, подвергавшиеся интенсивному хозяйственному воздействию, могут утрачивать частично, а местами и полностью, свою паводко-регулирующую роль.

Склон III

Пестрота условий стока обнаружена также и на склоне III(участок 6). Участок 6 занят молодым лиственным лесом 15-летнего возраста (граб, осина, дуб и др.), возникшем на лесосеке сплошной рубки. Полуистлевшие корни материнского насаждения в изобилии сохранились в профиле почв на пл.29 (некапиллярная скважность 14,6%). На пл. 28 такого рода водопроводящих полостей сохранилось меньше, корнеобитаемый слой почвы здесь менее мощный. Некапиллярная скважность снижается до 10,4%. Этими причинами, видимо, объясняются существенные различия в формировании стока на указанных площадках. На пл. 28 наблюдался смешанный сток, с некоторым преобладанием поверхностного, а на пл. 29 исключительно контактный. При этом доля поверхностного стока на пл. 28 возрастала по мере увлажнения почвы (первый опыт был поставлен в сухую погоду). Доля поверхностных вод увеличилась от 50% в первом опыте, до 55% во втором и до 60% в третьем опыте. Параметры потерь и стока на пл. 28 оказались почти теми же, что и на пл. 21 и 25 III-го склона. Впитывание

здесь относительно высокое (0.76 мм/мин в конце третьего опыта), а интенсивность поверхностного стока меньше той, которая отмечена на пл. 17 и 19 .

Опыты на **пл. 29** участка 6 показали отсутствие поверхностного стока. Был зафиксирован только слабый контактный сток при максимальных коэффициентах стока 0,10-0,11. Малая величина контактного стока при отсутствии поверхностного может объясняться или большой проницаемостью подстилающего относительного водоупора (наличие сбросов, глубоко развитой трещиноватости и т.п.), или неполным перехватом контактных вод за счет движения воды глубже или в обход измерительной траншеи. Анализ показывает, что на пл. 29 контактный сток не был учтен полностью. Действительно, два инфильтрометра, поставленные непосредственно на водоупор ниже площадки, дали крайне низкие величины инфильтрации - значащие цифры после четырех нулей (мм/мин). С другой стороны, хотя траншея и была опущена до поверхностного водоупора, но верхний его слой оказался сильно выветренным и хорошо дренированным ходами истлевших мощных корней. Эти же факторы могли создать и некоторое движение вод в обход измерительных приборов. Поэтому значения коэффициента стока на пл. 29 значительно преуменьшены. Вероятно, несколько преуменьшены значения контактного стока и на пл. 21 и 25. Хотя полный перехват контактных потоков на них на глубине был гарантирован, но из-за сухой погоды боковое растекание могло оказаться невосполненным даже в конце опытов, а ширина дренажного растекания фиксировалась приуменьшенной, т. е. не был достигнут установившийся режим, при котором расход бокового растекания полностью идет на впитывание в подстилающий слой в пределах учтенной площади растекания, а почвенная аккумуляция отсутствует.

Таким образом, склоны после нормального лесовозобновления в течение 15 дет, по-видимому, восстанавливают свои водорегулирующие свойства местами почти полностью (как на пл. 29), местами же частично (пл. 28). При этом условия, репрезентуемые пл. 28, являются, видимо, преобладающими. В пользу такого вывода говорят как материалы

рекогносцировки, так и опыты на малых площадках, на которых доля поверхностного стока примерно того же порядка, что и на пл. 28 (коэффициенты поверхностного стока от 0,09 в первом, до 0,28 в последнем из опытов).

Склон IV

Интересные результаты дали опыты, поставленные на склоне IV (пл. 31, лесные культуры каштана 9-летнего возраста на участке котловинной рубки). В первом опыте, несмотря на высокую интенсивность дождя (2 мм/мин)поверхностного стока не отмечено. Он появился во 2-м опыте и существенной величины достиг только в 3-м опыте, после большого увлажнения. Однако в последнем случае поверхностный сток составил только 30% общего. При интенсивности дождя 2,09 мм/мин интенсивность общих потерь составила 1,52 мм/мин, а поверхностного впитывания (с учетом величины контактной отдачи) - порядка 1,8 мм/мин. Следует при этом заметить, что и на этой площадке из-за недостаточной глубины измерительной траншеи контактный сток (как и на пл. 29) оказался приуменьшенным, почему доля поверхностного стока фактически не достигла относительной величины (30%).

Рассматриваемый участок характеризуется направленной хозяйственной деятельностью, связанной с искусственным восстановлением вырубленного древостоя.

Все изложенное позволяет сделать два вывода:

- Горные склоны приморской полосы характеризуется исключительной изменчивостью параметров инфильтрации и стока, что в значительной мере связано с влиянием хозяйственной деятельности человека.

- Гидрологические свойства горных склонов приморской полосы Кавказа, под влиянием их нерационального хозяйственного использования, существенно ухудшились (по сравнению с лесами, удаленными от побережья). Возникли селеносные участки, площади, способные формировать интенсивный паводочный сток. Доля дренажных вод в паводочном стоке даже на залесенных территориях зачастую невысока, не-

достаточна паводко-регулирующая роль лесов, затронутых выпасом, неорганизованным прогоном скота, приисковыми рубками, а также некоторых площадей рубок с недостаточным возобновлением. С другой стороны, площади рубок с своевременным и качественным лесовосстановлением могут в относительно сжатые сроки восстанавливать регулирующую роль.

5.2.6 Расчет параметров склонового стока

Как отмечалось выше, в задачу исследований 1968 г. не входило накопление обильного материала, достаточного для выработки рекомендаций по расчету паводкового притока со склонов различного характера. Однако по одному из объектов исследования – склону I все же получен материал, обобщение которого позволяет сделать некоторые выводы, обосновывающие методы генетического расчета потерь слоя склонового стока.

Рассмотрим проблему расчета поверхностного впитывания. Обычно для расчета инфильтрации воды в почву используют двучленную степенную или показательную функцию времени. Так, в предыдущих работах (Н.Ф.Бефани, 1966; Н.Ф.Бефани и др., 1967), при обобщении экспериментальных материалов применялась формула вида:

$$K_t = K_0 + \frac{A}{t^n} \quad \text{мм/мин} \qquad (45)$$

где K_t - интенсивность впитывания в момент времени ***t*** (мин.), K_o - установившаяся интенсивность инфильтрации, *n* - показатель редукции (обычно n=3/4), и *A*- параметр впитывания, связанный с величиной почвенной влажности. Последний обычно выражается в функции от индекса предшествующих осадков ***Iw:*** $I_w = \sum Q_{dT_n} * X_{dT_n}$ (46),

причем- X_{dT_n} **=** $X_{tn\text{-}Tn\text{-}1}$ (47)

Здесь - X_{dT_n} - сумма осадков, выпавших в интервале времени ***dT*** от T_{n-1} до T_n при отсчете времени назад от расчетной даты, на которую

определяется индекс; Q_{dT_n} - доля осадков ***XdT^*** , сохранившаяся в почве на расчетную дату.

В дальнейшем для расчета индекса использована формула Н.Ф.Бефани (1955) вида

$$I_w = X_{0-1/12} + 0.9X_{1/12-1/6} + 0.8X_{1/6-1} + 0.6X_{1-2} + 0.5X_{3-5} + 0.4X_{6-10} + \\ + 0.3X_{11-20} + 0.17X_{21-30} + 0.09X_{31-40} + 0.05X_{45-50} + 0.03X_{51-60}\cdots \quad \textbf{(48)}$$

где значения T_n **и** T_{n-1} даны в сутках.

Обычные методы вычисления обобщенных параметров инфильтрации K_0 и А в данном случае не дают конкретных результатов в связи с отмеченной выше очень большой изменчивостью впитывания по площади склона: каждая площадка обладает индивидуальными значениями указанных параметров. Конечно, построение коррелятивных связей $K_t - K_0 = f(t)$ и затем $A = f(I_w)$ технически возможно и позволяет получить усредненные величины параметров K_0 , A и n. Однако отклонения опытных точек от линии регрессии получаются в этом случае очень большими, просто несопоставимыми с обычными погрешностями такого рода обобщенных связей. На более однородных (например, равнинных) склонах расчеты по средней интенсивности впитывания пригодны, т.к. .все участки поверхности при большой интенсивности дождя оказываются стокообразующими, и недостаток впитывания на сравнительно малых проницаемых участках компенсирует избыток на более проницаемых элементах поверхности. Подобная компенсация на горных склонах с большой изменчивостью инфильтрационной способности по площади (как на изученной территории) отсутствует. В самом деле, даже при очень большой интенсивности ливня бессточными оказываются участки поверхности с провальным впитыванием и, наоборот, даже при малой интенсивности дождя все же способен возникнуть некоторый "выборочный" сток с мало проницаемых элементов склона. Очевидно, в данном случае в расчет необходимо ввести кривые распределения или обеспеченности поверхностного впитывания по площади.

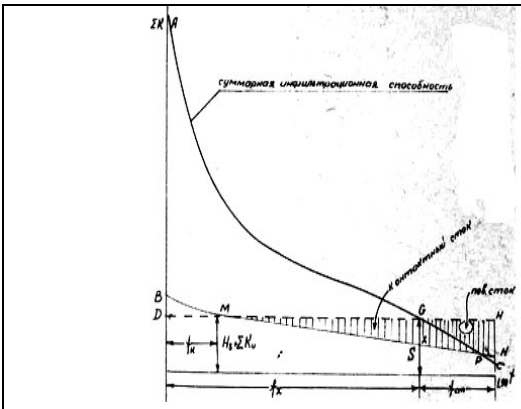


Рисунок 47. Кривые обеспеченности инфильтрационной способности поверхностного и контактного стока (по площади)

Допустим, что нам известно распределениепо площади суммарной инфильтрационной способности ∑**K**, взятой за некоторый ливневой дождь продолжительностью T . Соответствующая кривая обеспеченности ∑**K** = *f (F)* изображена на рис**.** 47. Очевидно, ∑**K** представляет собой инфильтрационную способность, превышаемую на площади **F**, исчисленной в долях от площади бассейна. Очевидно *f* - это обеспеченность в долях единицы. Отсюда процентная обеспеченность ***P*** = 100 f %. Величина ∑**K** связана с интенсивностью инфильтрации соотношением $\sum K=\int_0^T Kt * dT$**-,** где ***Kt*** - интенсивность впитывания в момент ***t***, имеющая обеспеченность ***f.***

Если ***X*** представляет собой количество осадков за расчетную продолжительность ливня T, то, проводя по этой величине линию ***DH*** параллельно оси обеспеченности, по точке ***G***- пересечения этой линии с кривой обеспеченности, получим величину бессточной площади ***Fx***, в пределах которой осадки не компенсировали инфильтрационную способность. Если функция ∑**K** = *f (F)* задана аналитически, то f_k определяется из условия ***X=f*** *(T).* На доле площади f_c будет происходить сток. Величина стока ***Y={X***-∑**K** ****F}*fcm,*** где $K_{ср}$ - средняя на площади f_{cm} фнльтрационная способность.

По кривой рис. 47 можно определить также и контактный сток,

если известна кривая распределения потерь контактного стока $H_з$*$\sum$**K,** где $H_з$⁻ поверхностное задержание, и $\sum$**K** -инфильтрация в подстилающий водоупор. Как мы видели, инфильтрация в подстилающий слоя мала, почему обычно *Нз* существенно превышает $\sum$**K**.

Расчет контактного стока можно произвести несколькими способами. Простейший способ основан на допущении о синфазности кривых обеспеченности потерь поверхностного и контактного стока, т.е. на предположении, что большим значениям поверхностного впитывания отвечают большие значения контактных потерь, а меньшим - меньшие. В таком случае последовательность выборки при формировании ранжированных рядов будет одинаковой для обоих рядов, что позволит совместить обе кривые обеспеченности в одной координатной системе.

Конечно, от указанного правила могут быть отступления, но в общем оно соблюдается. Действительно, на участках с рыхлой почвой, пронизанной на большую глубину корнями деревьев, максимальными будут как поверхностные потери, так и почвенное задержание и, наоборот, на открытых глинистых площадках с очень слаборазвитым дренажом и, как следствие, - малой емкостью контактного слоя, наблюдаются минимумы величин $\sum$**K** и $H_з$. Сделанное допущение позволяет по пересечению кривой обеспеченности контактных потерь (*BN)* и линии осадков *(DH)* определить долю площади, на которой контактный сток невозможен (осадки задерживаются почвой и уходят вглубь). Величина контактного стока определяется по сумме площадей *MGS* и *GSP* (на участке *PN* сток будет только поверхностный).

Величину контактного стока можно выразить и аналитически. Изложенный прием дает полную величину склонового стока, включающую в себя как паводочную составляющую, т. е. собственно контактный сток в дренах и дренажных пластах, промытых по контакту с водоупором, так и медленный сток внутрипочвенных вод, охватывающий весь почвенный профиль, не имеющий крупных дрен и поэтому медленно разгружающуюся в русло.

Величина $\sum$**K** является функцией продолжительности дождя. Поэтому для практического расчета поверхностного склонового стока

необходимо рассматривать инфильтрацию в функции не только от ***f ,*** т.е. обеспеченности по площади, но и от времени. Последнее необходимо как для определения слоя стока, так и для расчета хода склонового стока. Решение этой задачи может быть достигнуто различными методами. Мы использовали графоаналитический метод, включающий в себя:.

- получение семейства осредненных по площади типовых инфильтрационных кривых, помеченных индексом увлажнения в качестве параметра;

- составление таблиц и кривых обеспеченности по площади величин инфильтрации, взятых на .разные моменты времени.

Для получения средних по площади значений впитывания было бы неправильно просто усреднить одновременные ординаты инфильтрационных кривых, полученных на всех опытных площадках, так как последние весьма различны по размерам. Но в то же время неправильно было бы и придавать наблюденным ординатам веса равные площадям соответствующих площадок хотя бы уже потому, что инфильтрометры по учетной площади в несколько тысяч раз меньше площадок дальнеструйного дождевания. Использование подобного метода фактически означало бы отказ от учета данных инфильтрометра, что лишило бы нас возможности оценить подлинные масштабы вариации впитывания по площади, поскольку на больших площадках усредняются довольно разнородные по впитывающей способности элементы поверхности. Еще важнее то обстоятельство, что как инфильтрометры, так и малые площадки устанавливались не просто по квадратам, а в разных пунктах исследуемой площади так, чтобы каждый пункт наблюдений репрезентовал некоторую визуально однородную часть площади. Так, малые площадки выбирают на участках с мощной и частично разрушенной дерниной, у деревьев и между ними, на бугорках и в микротальвегах, на крутых и пологих участках исследуемой площади. Вследствие этого каждый опыт репрезентует некоторый участок общей площади, превышающий площадь самого прибора. Исходя из размеров общей площади, охваченной исследованиями, и количества установок,

можно принять, что каждый инфильтрометр репрезентует примерно 40 м^2 площади, а каждая малая дождевальная площадка - около 80 м^2 Очевидно, если принять показания каждого инфильтрометра за единицу, то вес. малой площадки следует приравнять двум, а веса больших площадок определить как отношение $\alpha = F/40$ где F- размер площадки в м^2. Отсюда вес показаний пл. 11 принятα = 5, а для пл, 2 α= 3, и для пл. 8 α= 2.

Для построения типовых инфильтрационных кривых опытные данные были распределены по величине увлажненности на три категории. В первую вошли все первые опыты, проведенные в сухую погоду при среднем индексе увлажнениями I_w=40 мм {за время работ индекс естественного увлажнения почти не менялся). Ко второй категории отнесены все опыты, проведенные при высокой влажности, созданной первым искусственным дождем. Индекс увлажнения в этих опытах был менее устойчивым, изменяясь от 60 до 80 мм.

В первом приближении мы сочли возможным отнести упомянутую совокупность данных к среднему индексу I_w= 70 мм. Такое значение индекса характеризует высокое увлажнение; в условиях исследованного района такой индекс достигается приблизительно один раз в год в ходе наиболее интенсивных дождливых периодов. В третью группу вошли все третьи опыты, проведенные после двух предшествующих дождеваний - при очень высоких индексах увлажнения - в среднем порядка 120-125 мм. Столь высокое увлажнение в естественных условиях можно рассматривать как практически предельное - период его повторяемости для района составляет 10-20 лет (имеется в виду увлажнение перед стокообразующим дождем).

Для всех опытов, по каждой их группе отдельно, были выбраны значения инфильтрации на 20, 30 и 60 мин. опыта и составлены таблицы обеспеченности. В качестве примера в табл. 27 дана такая таблица по первой группе опытов для $\boldsymbol{t}$ = 20, 30 и 60 мин.

Таблица 27 - Ординаты кривых обеспеченности интенсивностей инфильтрации на 20, 30 и 60 мин. опыта. Склон 1 (учтены инфильтрометры с естественной поверхностью, метровые и большие площадки). Первые опыты I_w = 40 мм

Эмпирическая обеспеченность в %	Kt			Ki		
	20	30	60	20	30	60
3,8	15,6.	11,3	7,35	6,54	5,54	4,90
7,7	11,7	10,2	7,00	4,90	4,95	4,67
11,5	10,8	8,40	(6,70)	4,35	4,62	4,47
15,4	4,90	4,25	3,40	2,05	2,08	2,27
19,2	2,30	2,15	1,40	0,97	1,06	0,94
23	2,30	2,15	1,40	0,96	1,05	0,93
27	2,04	1,84	1,39'	0,85	0,90	0,83
31	1,27	1,04	1,00	0,54	0,51	0,67
35	1,27	1,04	1,00	0,53	0,51	0,67
38	1,27	1,04	0,85	0,53	0,51	0,57
42	1,04	.1,04	0,85	0,44	0,51	0,57
46	1,04	1,04	0,85	0,43	0,51	0,57
. 50	0,60	0,60	' 0,60	0,25	0,30	0,40
54	0,60	0,60	0,60	0,25	0,29	0,40
58	0,45	0,44	0,42	0,19	0,22	0,28
62	0,45	0,44	0,42	0,19	0,22	0,28
65	0,45	0,44	0,42	0,19	0,21	0,28
69	0,45	0,44	0,42	0,19	0,21	0,28
73	0,45	0,44	0,42	0,19	0,21	0,28
77	0,28	0,25	0,24	0,12	0,12	0,16
81	0,28	0,25	0,24 •	0,12	0,12	0,16
85	0,25	0,25	0,19	0,11	0,12	.0,13
88	0,25	0,25	0,19	0,10	0,12	0,13
92,3	0,09	0,07	0,04	0,03	0,03	0,03.
96,2	0,05	0,03	0,03	0,015	0,015	0,02

При составлении варьирующих рядов инфильтрации не были приняты во внимание данные нескольких инфильтрометров, показавшие нереально высокое впитывание, явно связанное не с вертикальной инфильтрацией, а со стремительным боковым растеканием по каким-то корневым ходам или кротовинам, сопряженным с нижней кромкой при-

бора.

Средние по площади значения K_0, подсчитанные на основе указанной выборки, позволили построить типовые кривые средней фильтрационной способности (рис. 48).

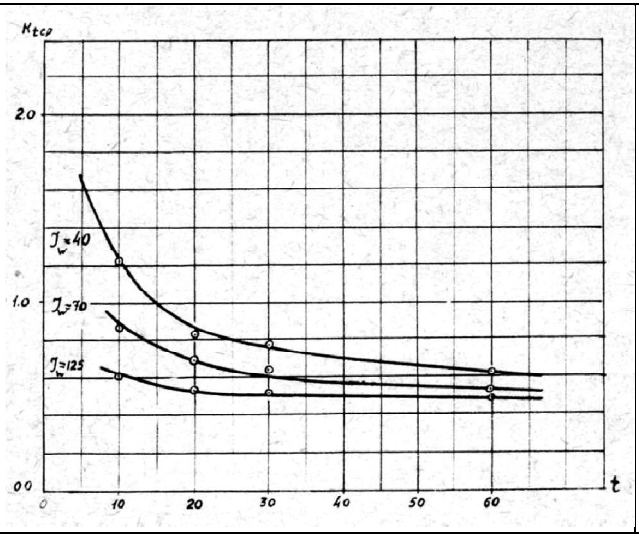


Рисунок 48. Кривые впитывания, усреднённого по площади, при различном предварительном увлажнении

Для перехода к значениям инфильтрации, обеспеченным по площади, построены кривые обеспеченности в модульных коэффициентах (пример построения дан на рис. 48). Как видно на рисунке 49, величина модульных коэффициентов практически не связана со временем, определяясь только обеспеченностью (и, естественно, индексом увлажнения). Это позволило построить для каждого индекса единую кривую обеспеченности модульных коэффициентов инфильтрации. Координаты расчетных кривых приводятся в таблице 27.

Как видим, ординаты кривых обеспеченности при I_w=70 мм и I_w=120 мм очень близки друг к другу и практически совпадают при P> 50%, т. е. в наиболее важной для расчетов части графика. Это делает несущественной ошибку от принятого выше усреднения инфильтрации, полученной во втором и третьем опытах при непостоянном I_w.

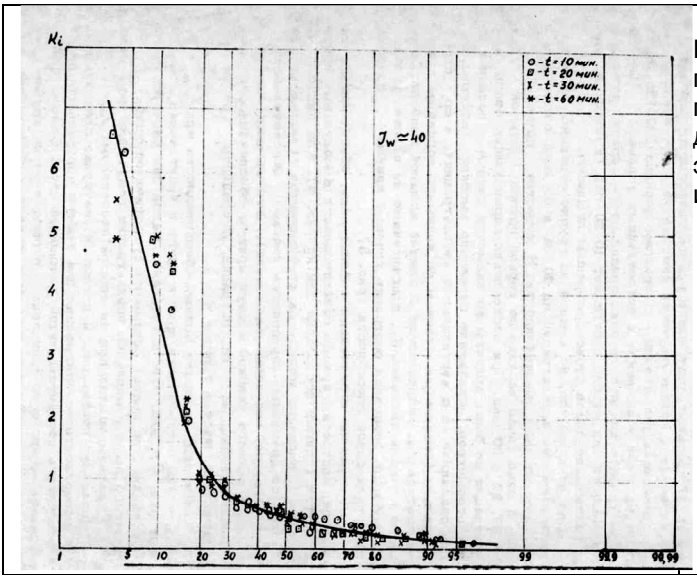


Рисунок 49. Кривые обеспеченности по площади модульных коэффициентов инфильтрации

Используя график рис. 49 и табл. 28, нетрудно получить кривую поверхностного впитывания для любого конкретного ливня и рассчитать соответствующий склоновый сток. Само собой разумеется, что речь идет пока о первом и очень грубом приближении, поскольку исходные данные крайне ограничены, получены выборочным путем, не охватывая всего многообразия условий естественных склонов.

Таблица 28 - Координаты кривых обеспеченности модульных коэффициентов поверхностной инфильтрации.

Индекс увлажнения, мм	Обеспеченность (доля площадок, где инфильтрация больше данной)										
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	9S
Iw=40	5,15	3,30	1,25	0,75	0,55	0,40	0,30	0,25	0,22	0,20	0,15
Iw=70	3,50	2,25	1,40	1,08	0,90	0,75	0,66	0,58	0,50	0,40	0,38
Iw=120	3,75	2,77	1,30	0,95	0,80	0,71	0,65	0,60	0,52	0,40	0,37

Опыты дают также материал о потерях склонового стока - ве-

личинах инфильтрации в подстилающий водоупор и почвенного задержания (которые могут быть установлены на основе балансовых расчетов по данным дождевания больших площадок). Как уже отмечалось, опыты показали очень низкую фильтрационную способность подстилающего слоя, вследствие чего потери контактного стока в основном комплектуются за счет почвенного задержания. Здесь мы воздерживаемся от более конкретных расчетных рекомендаций, т.к. существенный склоновый сток был получен только на нескольких площадках, а учет его, как об этом говорилось выше, иногда был неполным. Для нормирования потерь дождевых вод необходима постановка более многочисленных опытов с охватом водоупоров различного типа.

На основе экспериментов с искусственным дождеванием нетрудно определить время и скорость добегания волны стока (при поверхностном и склоновом стекании). Как известно, время добегания волны при постоянной интенсивности дождя представляет собой интервал между началом стока и точкой перегиба гидрографа, в которой ускоренное нарастание стока по вогнутой кривой (фаза, неполного стока.) переходит к замедленному нарастанию по выпуклой кривой (фаза полного стока).

Обобщение полученных таким путем материалов для площадей с преобладающим поверхностным стоком можно выполнить на основе формулы $V = m\sqrt{I * y}$, (49

где ***V -*** скорость в м/мин; ***I***- уклон поверхности (в виде отношения падения к длине), **Y**- слой стока, накопившийся за время добегания - при полном или же за время дождя при неполном стоке.(мм), и ***m***- гидравлический параметр, учитывающий шероховатость поверхности и ее строение (микрорельеф), обусловливающее характер ручейкового стекания - распределение потока на большее или меньшее число струй. Формула получена и проверена на опытном экспериментальном материале как в равнинных, так и горных условиях (Карпаты, Сихотэ-Алинь). Вновь полученный материал целесообразно использовать для вычисления гидравлического параметра ***m***, отвечающего условиям стекания на изученных склонах.

Определяя величину ***y*** из условия ***Q = V*B*Y,*** где ***B*** **-** ширина площадки, и подставив формулу (49), получим

$$\boldsymbol{m} = \mathrm{V} * \sqrt{VB/IQ}, \qquad (50)$$

где ***V*** **-** скорость в м/мин., ***Q***- расход в л/мин. и ***B***– в м.

Результаты расчетов по этому соотношению сведены в табл. 29. вкоторой приведены данные по большим площадкам, так как малые в нужных масштабах не воспроизводят концентрацию воды в склоновой ручейковой сети. Использованы при этом только те опыты, в которых отмеченный выше перегиб в кривой нарастания стока обозначался достаточно резко и характер нарастания гидрографа стока не оставлял сомнений в том, что стекание формировалось по всей длине площадки, а не только в нижней ее части (в последнем случае время добегания не отвечало бы полной длине площадки). Выборка времени добегания выполнялась с точностью 0,25 мин.

По зарастающей прогалине на склоне ***I*** (луговые травы, местами кустарник) получились довольно устойчивые значения ***m,*** варьирующие от 3,1 до 4,8 (в среднем около 4,0). Несколько неожиданно точно такие же результаты дали и опыты на участках грабинника, имеющих эрозионную сеть, проработанную ливневыми водами по микротальвегам и тропам, протоптанным скотом. На этом участке, сравнительно разнородном по растительному покрову, имеющем местами плотные заросли, получены величины ***m*** от 3,0 до 5,0 при среднем 4,0, как и на луговом участке 1. На не эродированном участке того же склона, сильно заросшем, с моховой подстилкой коэффициент ***m*** - значительно меньше (1,7) (табл.29). Еще меньше он оказался в ольшатнике и густом молодом лесу (1,1-1,4).

Обобщение данных исследований в Карпатах и Сихотэ-Алине привело к значению ***m***=1 для густых зарослей, ***m***-4,0 для лесных склонов с изреженным травостоем и лугом, и ***m=*** 6,5 для склонов, лишенных сплошного травяного покрова (пар, пропашные, жнивье и т.п.). Для очень густых зарослей было получено ***m***=1,0. Как видим, исследования, проведенные в бассейне р. Шахе, полностью отвечают этим нормативам.

Таблица 29 - Скорость и параметры добегания по опытам с искусственным дождеванием

Номера площадок	Номера опытов	Длина склона, L м	Время добегания t (мин.)	Скорость добегания, Vм/мин	Расход Qл/с	Уклон I	Ширина площадок в м	Параметр добегания, т
А.Большие площадки. Поверхностный сток								
Склон I, участок 1.Зарастающая прогалина								
2	2	15,5	4,5	3,44	144	0,404	13,8	3,1
	4а		3,25	4,76	205			4,2
	4б		3,0	5,17	220			4,6
	8		3,5	4,42	210			3,7
11	21	14,0	4,0	3,50	135	0,131	9,4	4,8
Склон I участок 3. Ольшатник								
8	12	11,0	6,0	1,83	94,	0,268	7,8	1.4
Склон III. участок 6. Молодой лес; густой подлесок; травяной покров								
28	74	11,2	8,0	1,40	91	0,222	9,4	1,1
Склон II. Грабинник. Густые заросли. Моховая подстилка								
21	50	13,8	8,0	1,73	34	0,674	12,5	1,7
Склон II. Грабинник, эродированный выпасом скота участок								
14	28	15,0	3,75	4,00	144	0,294	8,9	3,7
	30	3,5		4.29	187			3,6
19	43	124	5	248	97	0,226	13,5	3,0
	44	4,5		2,75	100			3,5
	45а	3,5		3,54	130			4,5
	456	3,25		3,81	130			5,0
	46	3,75		3,31	130			4,1
17	37	14,1	3	4,70	117	0,493	9,7	4,2
	39	2,5		5,64	150			4,9
	40	2,75		5,13	173			3,0
Б. Большие площадки. Склоновый сток								
21	53	13,8	21,0	0,66	0,674			0,81
25	62	16,2	35,0	0,46	0,506			0,60
26	64		30,0	0,54				0,75
27	66		33	0,49				0,69
28	72	11,2	38	0,29	0,222			0,62

Для луговых и лесных горных склонов Причерноморья, находящихся под выпасом, можно принять ***m***= 4,0, а для густых зарослей при неэродированной поверхности ***m*=**1,5.

Таким образом, использование лесных земель под выпас или для прогона скота изменяет в нежелательном направлении не только впитывающую способность почвы, но и гидравлические характеристики поверхности. Скорости, при прочих равных условиях возрастают почти втрое, в связи с чем резко возрастает опасность эрозии и появления селей.

На площадках с преимущественно склоновым стоком (пл.21, 25 и 28) удалось определить скоростной параметр контактного добегания V_0 (скорость дренажного стока при V = 1), т.е. на склонах крутизной 45°. Определение V_0 из формулы склоновой скорости $V=V_0\sqrt{I}J$ привело к значениям этого параметра от 0,6 до 0,81, в среднем около 0,7. Эта величина не отличается от полученной в условиях Карпат, в несколько иных геологических условиях. Таким образом, вновь подтверждается удивительное постоянство параметра V_0, что, видимо, объясняется связыо между размерами естественных дрен и уклоном склонов, в силу чего уклон и оказывается почти единственным действующим фактором склоновой скорости.

Материалы этих исследований выяснили процессы формирования паводочного стока на горных склонах Причерноморья и дают приближенные количественные оценки некоторых элементов стока и потерь для склонов различного характера. Задачей дальнейших исследований является получение массового экспериментального материала, нужного для вычисления формул инфильтрации и неполного стока, учитывающих динамику этих величин во времени и по площади на лесных и безлесных склонах площадей рубок, находящихся в различных стадиях восстановительного процесса.

5.3 Экспедиционные исследования генезиса стока в приморской зоне ЧПК

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 пашни, сады, плантации, застройки и т.д. Это, конечно, сказывается на гидрологическом режиме территории.

Экспериментальные исследования гидрологической роли лесов в этом районе начаты Сочинской НИЛОС в бассейне р.Шахе совместно с Одесским гидрометинститутом (Бефани А.Н. и др.,1970). Далее они были продолжены на территории б.Лооского экспериментального лесхоза в бассейнах малых рек - Хобза и Буу.

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 (табл. 30). Контролем служили покрытые лесом территории.

На участках ставились опыты с искусственным дождеванием элементарных водосборов (до 300 $м^2$), а также выполнялась инфильтрационная съемка склонов при помощи простейших кольцевых инфильтрометров площадью 0,1 $м^2$ (А.Н.Бефани и др., 1968, 1970). Всего было проведено 16 опытов с искусственным дождеванием и 95 опытов с инфильтрометрами.

Из теории следует, что движение воды в почве определяется тремя факторами: геометрией порового пространства, заполняемого водой, механическими свойствами почвогрунтов и силами, действующими на воду. Для реальных почв геометрия порового пространства (размеры и их соотношения) характеризуются случайными распределе-

ниями по площади и по глубине.

Таблица 30 - Водно-физические свойства почв на участках проведения экспериментов (усредненные данные)

Участок	Глубина слоя почвы, см	Объемный вес, г/см3	Удельный вес почвы, г/см3	Скелетность %% по весу	Влагоемкость % по объему		Общая пороз-ность в %%	Некапилляр. скважность, %%
					капиллярная	предельн полевая		
3	4-14	1,18	2,72	10,5	46,4	53,6	56,6	12,2
	25-35	1,32	2,82	15,0	42,9	44,3	53,2	10,3
	45-50	1,33	2,84	37,7	43,5	44,8	53,2	9,7
4	4-14	1,13	2,71	11,1	50,5	53,0	58,3	7,8
	20-30	1,18	2,74	3,4	49,2	49,2	56,9	7,7
	40-45	1,24	2,85	5,5	49,2	49,7	56,4	7,2
5	6-16	1,22	2,71	3,9	39,1	42,8	55,0	15,9
	28-38	1,28	2,72	7,6	39,3	42,4	52,8	13,5
6	44-49	1,32	2,72	9,4	40,0	43,0	51,7	11,7
	3-13	1,26	2,68	14,2	41,2	44,4	53,9	12,7
	20-30	1,32	2,70	21,6	36,2	40,4	51,2	15,0
	40-45	1,33	2,70	9,2	38,7	40,0	51,0	12,3
7	2-12	1,22	2,76	15,8	48,9	51,8	56,0	7,1
	31-41	1,24	2,81	26,9	43,9	45,7	55,7	11,8
	45-50	1,22	2,75	34,2	46,5	47,9	55,7	9,2
8	2-12	0,96	2,65	6,8	37,2	46,4	63,8	26,6
	15-25	1,06	2,70	2,9	41,8	44,2	60,6	18,8
	40-45	1,23	2,72	1,6	47,1	49,8	54,8	7,7

В целом для всех почвенных разностей характерно снижение некапиллярной скважности с глубиной. Этими закономерностями обусловливаются различия интенсивности поверхностного впитывания на реальных водосборах. Сказанное подтверждается результатами опытов по определению впитывания с помощью простейших кольцевых инфильтрометров, поставленных на различных видах угодий. Так, минимальное впитывание (т.е. впитывание на конец опыта) на сельхозугодиях, в садах колебалось от 8,80 до 0,01 мм/мин, а на контрольных

лесных участках - 14,2-0,05 мм/мин.

На участке 3 минимальное впитывание изменялось от 2,00 до 0,00 мм/мин., на участке 4 - от 15,0 до 0,001 мм/мин., на участке 5- от 16,0 до 0,11 мм/мин., на участке 7 - от 2,90 до 0,015 мм/мин (табл.31). Таким образом, результаты определения *минимального впитывания* на площадях, занятых различными видами угодий, показывают, что исследования впитывания следует вести с применением статистических методов.

Таблица 31 - Параметры статистических распределений по площади интенсивности минимального впитывания почвой

Характеристика площади, угодья	Число опытов	К, мм/мин	±mк мм/мин	σ, мм/мин	Cv %	Cs	E	P %	Критерий Стьюдента	
									t'	t
Хозяйственно - используемые участки										
Сельхозугодия, сады	24	0,85	0,37	1,83	216	3,44	11,9	44		
Прогалины под выпасом	13	0,40	0,18	0,66	166	1,62	0,94	46	1,08	2,15
Плантационные культуры кипариса, 1 класс возраста.	11	2,25	1,40	4,63	206	1,89	2,31	62	1,32	2,22
Свежая раскорчевка	13	0,26	0,22	0,79	306	2,81	6,40	85	1,41	2,22
Общий статистический ряд	61	0,88	0,30	2,34	266	4,46	21,5	34		
Контроль - лесные участки										
Молодняки II кл. возраста	20	3,67	1,14	5,12	139	1,39	0,48	31		
Изреженные (полнота 0,5) буково-каштановые древостои II кл. бонитета	14	6,34	1,80	6,73	106	0,83	0,76	28	1,25	2,14
Общий статистический ряд	34	4,74	1.00	5,82	123	1,27	0,37	21		

Примечание к табл.31: К - среднее ряда; $\pm m_к$ - ошибка среднего; σ - среднеквадратическое отклонение; C_v - коэффициент вариации, C_s - коэффициент асимметрии; Е - эксцесс; Р - точность.

Поскольку поверхностное впитывание представляет один из основных показателей водоохранно-защитных функций, выполняемых данным угодьем, то характеризовать водоохранно-защитную роль площади можно на основании статистического анализа распределения впитывания.

В табл. 31 приведены результаты обработки статистических рядов величин минимального впитывания, которые были получены инфильтрационной съемкой склонов, покрытых лесом и находящихся под хозяйственным воздействием. Средняя интенсивность впитывания для отдельных рядов, полученных на сельхозугодиях, на прогалине под выпасом, плантациях и свежих раскорчевках, изменяются от 0,26 до 2,25 мм/мин. Однако, вариация впитывания здесь настолько велика (коэффициенты вариации достигают 306%), что нет оснований утверждать о достоверности различий этих рядов. В связи с этим, был предпринят расчет оценки различий между выборочными средними рядов интенсивности впитывания на площадях, подверженных хозяйственному воздействию в целом.

Для оценки различий между средними арифметическими независимых выборок применен критерий Стьюдента t', определяемый по формуле (Вольф, 1966):

$$t' = \frac{K_1 - K_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \qquad (51)$$

Здесь К - средние арифметические двух сравнимых выборок; S^2 - дисперсии выборок; n - объем выборок.

Разность между средними выборок существенна на 5%-ном уровне значимости в том случае, если t'>t, где t определяется по выражению:

$$t = \frac{m_{k1}^2 * t_{0,05} + m_{k2} * t_{0,05}}{m_{k1}^2 + m_{k2}^2} \qquad (52)$$

Здесь $\boldsymbol{m_k}$ - ошибка средней ряда; $\boldsymbol{t_{0,05}}$ - табличный критерий Стьюдента на 5%-ном уровне значимости.

Как показали расчеты, для участков 1,3,4 и 7 различия между средними статистических распределений интенсивности впитывания несущественны (t'<t). Даже если учесть тот факт, что эти ряды по своим параметрам отличаются от нормальных, можно с большой вероятностью считать различия между рядами несущественными, поскольку t<3.

Таблица 32 - Координаты кривых обеспеченности интенсивности минимального впитывания по площади, мм/мин

Участки	Обеспеченность , %%											
	2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Лес	21	17,0	14,5	9,5	5,7	3,4	2,0	1,15	0,60	0,25	0,10	0,08
Интенсивн. хозяйственных воздействий	9,7	4,8	2,4	0,95	0,40	0,15	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01

Следовательно, вполне допустимо рассматривать статистические выборки для участков 1,3,4 и 7 как принадлежащим к одной и той же генеральной совокупности. Обобщающие 4 выборки для площадей с интенсивным хозяйственным воздействием и 2 выборки для контрольных лесных площадей, получим 2 статистических ряда, с помощью которых можно характеризовать изменение гидрологических функций прибрежных территорий в результате сведения лесной растительности. По результатам обработки этих двух рядов построены 2 кривые обеспеченности интенсивности минимального впитывания.

В табл. 32 приведены координаты эмпирических кривых обеспеченности интенсивности впитывания по площади, из которых следует, что на участках, покрытых лесом, 70% площади способны поглотить ливни с интенсивностью более 0,6 мм/мин. Несмотря на то, что в прибрежной части побережья находятся зачастую в неудовлетворительном состоянии (допускается выпас скота, чрезмерное изреживание и т.д.), основная часть их площади значительно лучше выполняет водорегулирующие и защитные функции по сравнению с сельскохозяйственными

угодьями. На участках, подверженных интенсивному хозяйственному воздействию, защитные функции могут выполняться лишь одной четвертой частью площади.

Сравнивая приведенные кривые обеспеченности по их координатам, можно определить, что в среднем площади, находящиеся в интенсивном хозяйственном использовании, в 17 раз хуже выполняют водорегулирующие и защитные функции по сравнению с лесными участками. При этом варьирование интенсивности впитывания на сельхозугодьях в 2 раза выше, чем в лесу. Это объясняется большей пятнистостью почвенных условий на обрабатываемых площадях, особенно в отношении водно-физических характеристик почв.

В опытах на хозяйственно-используемых участках наименьшее впитывание 0,10-0,19 мм/мин.) получено на прогалине, где проводится систематический выпас скота. В среднем же для всех участков интенсивность впитывания составила 0,40 мм/мин при интенсивности дождевания 1,03 мм/мин. Средний коэффициент стока 0,40, при максимальных значениях - до 0,90.

На контрольных лесных участках дождевание проводилось с большей интенсивностью (в среднем 1,93 мм/мин.), поскольку при интенсивности, равной интенсивности дождевания на сельхозугодьях, сток был незначительным. При этом впитывание получилось в 2 раза больше - в среднем 0,79 мм/мин. Паводковый сток здесь проходил не по поверхности, а почти целиком в дренах и порах почвы, что значительно уменьшает его скорость и размывающую способность.

В заключение по результатам изучения водорегулирующей роли лесов прибрежной части Черноморского побережья Кавказа (РФ) можно отметить следующее:

- экспериментальные исследования впитывания, как одного из основных показателей водорегулирующей роли исследуемых площадей необходимо проводить с использованием статистических методов, что исходит из большого варьирования этого признака по площади. Помимо использования метода искусственного дождевания элементарных водосборов, для оценки защитных свойств различных видов угодий не-

обходимо применение инфильтрационных съемок склонов;

- в приморской части Черноморского побережья Кавказа даже расстроенные насаждения выполняют водорегулирующие функции значительно лучше, чем площади, находящиеся в интенсивном хозяйственном использовании.

5.4 Теоретическое моделирование склонового стока

В проблеме использования лесных, земельных и водных ресурсов горных районов роль лесной растительности как средообразующего фактора исключительно велика, поскольку состоянием лесной растительности, её качеством, количеством и территориальным размещением определяется равновесная динамика многих природных процессов. Из всего многообразия влияния горных лесов на среду их водорегулирующая и почвозащитная роль в большинстве случаев является определяющей.

Водорегулирующие и почвозащитные функции горных лесов связаны с активным положительным воздействием лесной растительности (биологическим и механическим) на водно-физические свойства почв (водопроницаемость, водовместимость) и осуществляются через перераспределение стока во времени за счет снижения поверхностного и увеличения грунтового стока, и предохранения почвенного покрова от разрушения.

Материалы исследований, проведенных в различных районах страны, а также зарубежные данные показывают, что всякое вовлечение горных лесных территорий в хозяйственный оборот приводит к нарушению природных взаимосвязей, ухудшению водорегулирующей роли лесной растительности. При этом наиболее резко ухудшаются водорегулирующие свойства участков, осваиваемых под сельхозугодья, значительно снижается водорегулирующий эффект на площадях рубок и при рекреационных лесопользованиях, и т. д.

Хозяйственное освоение горных склонов приводит не только к нарушению условий стока атмосферных осадков, но и развитию эрозионных процессов. В защите основных рек от паводковых вод и загрязне-

ния смытой со склонов и прибрежных площадей почвой, важное значение приобретают защитные лесные полосы вдоль русел рек, тальвегов водотоков и понижений. Основное их назначение — перехватить поверхностный сток, возникающий на участках склонов, находящихся под интенсивным хозяйственным воздействием, перевести его во внутрипочвенный и исключить эрозионные явления.

На основе экспериментальных работ, выполненных учёными ФГУ «НИИгорлесэкол» совместно с кафедрой гидрологии Одесского гидрометинститута на территории Северо-Западного Кавказа разработана зависимость для определения ширины защитных лесных полос вдоль рек и на горных склонах. В ее основу положена следующая схема формирования стока на горных склонах. Поверхностный сток возникает на площадях, где под влиянием хозяйственной деятельности или других причин уменьшаются величины поверхностного впитывания и их значения оказываются меньше интенсивностей ливней.

Сток формируется в пределах элементарных водосборов, располагающихся вдоль склона к основной реке (рис. 50). Для поглощения поверхностного стока, формирующегося в верхней, хозяйственно-используемой части такого элементарного водосбора, в нижней его части, примыкающей к реке, размещается защитная лесная полоса, характеризующаяся высокими водопоглотительными свойствами. Ширина полосы должна удовлетворять условию полного поглощения поверхностного водотока и перевода его во внутрипочвенный. Очевидно, что на ширину защитной лесной полосы будут оказывать влияние такие факторы, как интенсивность осадков, протяженность и крутизна склона, впитывающая способность и коэффициент шероховатости почвенного покрова и т. д.

Для вывода зависимости рассмотрим следующую схематическую модель (рис. 50 и 51). На склоне от водораздела до реки имеется хозяйственно используемая площадь (протяженностью вдоль склона L), с которой часть атмосферных осадков стекает в виде поверхностного стока. В нижней части склона, примыкающего к реке, располагается защитная лесная полоса шириной P, которая по условию должна погло-

щать поверхностный сток, поступающий с верхней части склона, и переводить его в дренажный.

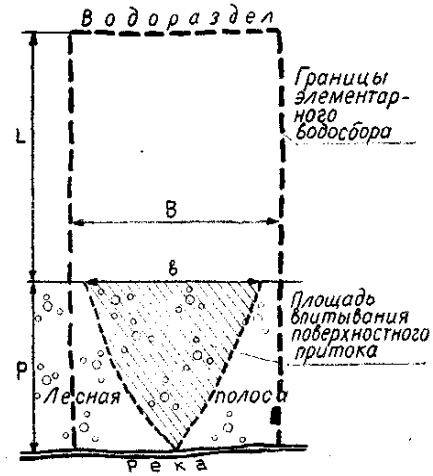


Рисунок 50– Схема элементарного водосбора

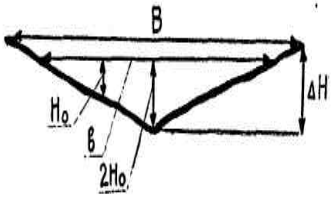


Рисунок 51 – Сечение элементарного водосбора

Склон от линии водораздела до основной реки обычно расчленен понижениями и повышениями рельефа на ряд отдельных небольших водосборов. Обозначим среднюю ширину таких водосборов — В, а глубину вреза тальвегов или бугристость — ΔН. Таким образом, площадь элементарного водосбора на склоне будет равна:

$$BL\ м^2 \quad или \frac{BL}{10^6} \quad км^2 \qquad (52)$$

Расход поверхностного притока (Q) с площади BL можно определить через модуль стока q

$$Q = q\ \frac{BL}{10^6}\ м^3/с \qquad (53)$$

где: q — модуль стока в $м^3$/сек с 1 $км^2$, определяемый по зависимости:

$$q = 16{,}7\ (h_0 - K_п) \quad м^3/км^2\ с \qquad (54)$$

Здесь: h_0 - интенсивность осадков в мм /мин; $K_п$ - интенсивность инфильтрации (впитывания) на хозяйственно-используемой части скло-

на, мм/мин; 16,7 — коэффициент, учитывающий размерности величин.

Интенсивность впитывания в защитной лесной полосе обозначена через $К_л$ мм/мин, расход впитывания на площади полного поглощения притока — $Q_{вп}$ $м^3$/сек, ширину полосы впитывания, затапливаемой притоком с верхней части элементарного водосбора — b, м.

Расход впитывания на площади полного поглощения притока составит:

$$Q_{вп}=\frac{0,5*b\bullet P}{10^6}\bullet 16.7Кл \quad м^3/с \qquad (55)$$

где: Р — ширина защитной лесной полосы, м.

Здесь в расчет взята половина величины «b», поскольку площадь впитывания схематически можно представить в виде треугольника, в котором среднее значение «$b_{1/2}$» приближенно равно 0,5, а площадь впитывания (S) лесной полосой:

$$S=\frac{0,5*b\bullet P}{10^6} \qquad (56)$$

По условию, расход поверхностного притока Q равен расходу впитывания, $Q_{вп}$.

Следовательно:

$$q\frac{B}{10^6}=\frac{0,5*bP\bullet 16,7Кл}{10^6}\ , \qquad (57)$$

или:

$$16,7\ (h_o—К_{вп})\ BL=0,5*\ bP\cdot 16,7\ К_л \qquad (58)$$

Отсюда, зависимость для определения ширины защитной лесной полосы будет иметь вид:

$$P=\frac{0,5(h_0-Квв)}{Кл}\bullet\frac{BL}{b} \quad м \qquad (59)$$

Эту зависимость можно было бы принять в качестве расчетной, если бы b = B. Но поскольку b < B, необходимо величину «b» определить дополнительно.

Строение элементарного водосбора и живое сечение потока на границе защитной лесной полосы и защищаемой части склона можно представить в виде треугольников (рис. 51) с основаниями B и b, в которых ΔH — бугристость, $Н_о$ — средняя глубина потока, $2Н_0$ — максимальная глубина потока.

Эти величины связаны соотношением: $\frac{2H_0}{\Delta H} = \frac{b}{B}$ (60)

Скорость течения водотока в верхнем створе (V) может быть установлена из зависимости: $V = m\sqrt{J}\sqrt{y}$ м/мин (61)

Здесь m — коэффициент, учитывающий шероховатость почвенного покрова; J — уклон; y — глубина воды при стекании ровным слоем по склону.

Глубину «y» можно приравнять к $H_{ср}$, где $H_{ср}$ — средняя глубина по пути стекания потока в защитной лесной полосе, равная $H_{ср} = \frac{H_0}{2}$.. Из зависимости (61) находим: $V = m\sqrt{J}\sqrt{y} = m\frac{\sqrt{J}}{60}\sqrt{H_{ср} \bullet 1000}$ м/с. (62)

или: $V = 0{,}527\ m\sqrt{J}\sqrt{H_{ср}}$ м/с. (63)

Известно, что величина расхода воды определяется соотношением:

$Q = V \cdot W$ $м^3/с$, (64)

где: W — площадь живого сечения потока.

Исходя из схемы (рис. 51) площадь треугольника $W = ½ * 2 H_0 * b$: (65)

где h — высота опущенная к стороне а) согласно рис 51 а b) – уровень воды.

Используя зависимости (62) и (63) находим:

$$Q = 0{,}527m\sqrt{J}\sqrt{H_{ср}}Ho \bullet b \quad (66)$$

Величину «b» можно найти из соотношения (65): $b = B\frac{H_0}{\Delta H}$ (67)

Следовательно: $$Q = 0{,}527m\sqrt{J}\sqrt{H_{ср}}\frac{H_0 B H_0}{\Delta H} \quad (68)$$

После преобразований: $$Q = 0{,}527m\sqrt{J}\sqrt{0{,}5H_0}\frac{H^2{}_0 B}{\Delta H} \quad (69)$$

или: $$Q = 0{,}372m\sqrt{J}H_0^{2,5}\frac{B}{\Delta H} \quad (70)$$

Зависимость (70) дает возможность найти величину H_0:

$$H_0 = \left(\frac{Q\Delta H}{0{,}372m\sqrt{J}B} \right)^{0,4} \qquad (71)$$

Подставив в выражение (70) величину H_0 по (71) находим:

$$b = \frac{B}{\Delta H} \left(\frac{Q\Delta H}{0{,}372m\sqrt{J}B} \right)^{0,4} \qquad (72)$$

Введя полученное значение «b» в (68) имеем:

$$P = \frac{(h_0 - K_п)}{K_л} \bullet \frac{BL\Delta H}{B} \left(\frac{0{,}372m\sqrt{J}B}{Q\Delta H} \right)^{0,4} \qquad (73)$$

После преобразований зависимость для определения ширины защитных лесных полос вдоль горных рек имеет вид:

$$P = \frac{L \bullet \Delta H(h_0 - K_п)}{K_л} \left(\frac{0{,}372m\sqrt{J}B}{Q\Delta H} \right)^{0,4} \qquad (74)$$

В эту формулу следует ввести редукционный коэффициент А, учитывающий неоднородность почвенных условий в отношении шероховатости и впитывающей способности на площади, с которой формируется склоновый сток. Тогда:

$$P = A\frac{L \bullet \Delta H(h_0 - K_п)}{K_л} \left(\frac{0{,}372m\sqrt{J}B}{Q\Delta H} \right)^{0,4} \qquad (75)$$

Здесь:

P — ширина защитной лесной полосы, м; h_0 — интенсивность осадков, мм/мин;

L — длина линии стока, м;

$K_л$ — впитывание в защитной лесной полосе, мм/мин;

$K_п$ — интенсивность впитывания на хозяйственно используемой части склона, мм/мин;

B — расстояние между микроводоразделами, м;

m — коэффициент шероховатости почвенного покрова защитной полосы;

J — уклон в долях от единицы;

ΔН — бугристость, м;

Q — расход поверхностного притока со склона, $м^3/с$.;

А — редукционный коэффициент, учитывающий неоднородность почв на элементарном водосборе в отношении их водно-физических свойств.

Параметры, входящие в выражение (82) определяются следующим образом:

В и L — промерами в натуре или по планам; h_0 — по экспериментальным данным или по климатическим справочникам (ориентация на ливни редкой повторяемости);

$К_л$ и $К_п$ — по опытным данным;

J и ΔН — по данным геодезической съемки элементарных водосборов или по картографическим материалам.

Коэффициент шероховатости «m» может быть найден экспериментальным путем по зависимости:

$$m = V\sqrt{\frac{VB}{JQ_m}} \qquad (76)$$

Здесь: J и В — уклон и ширина площадки, подвергаемой искусственному дождеванию, а величина скорости добегания максимума V и расход при максимуме Q_m определяются по методике А. Н. Бефани (1966).

Исследованиями, выполненными на Северо-Западном Кавказе получены значения «m», помещенные в таблице 33.

Время добегания паводочной волны при постоянной интенсивности дождя устанавливается как интервал между началом стока и точкой перегиба гидрографа, в которой ускоренное нарастание стока по вогнутой кривой (фаза неполного стока) переходит к замедленному нарастанию по выпуклой кривой (фаза полного стока).

Таблица 33- Коэффициенты шероховатости (m) по экспериментальным исследованиям на Северо-Западном Кавказе

Растительный покров и его состояние	Коэффициент шероховатости «m»	Растительный покров и его состояние	Коэффициент шероховатости «m»
1. Ненарушенные сомкнутые продуктивные древостой и сплошные кустарниковые заросли	1,0	6. Сильно нарушенные кустарниковые заросли (шибляк)	3,4
2. Сомкнутые молодняки II класса возраста	1,2	7. Сплошная свежая вырубка с раскорчевкой и рыхлением почвы	6,0
3. Расстроенные древостой вторичного происхождения (редины)	4,0	8. Промышленная чайная плантация	1,3
4. Свежая сплошная вырубка без повреждений почвенного покрова	1,4	9. Окно группово-выборочной рубки	1,7
5. Свежая сплошная вырубка с частичным повреждением почвенного покрова	2,5	10. Выпас с затравленным травостоем	3,0

Исследованиями в Карпатах и горах Сихотэ-Алиня (Бефани и др., 1966, 1967) показано, что значения m=1 приурочены к сомкнутым продуктивным насаждениям и густым кустарниковым зарослям. Для склонов с изреженным травостоем m=4; для склонов, лишенных сплошного травяного покрова (пар, пропашные, жнивье и т. п.) m=6,5.

Глава 6
ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТЬ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАВКАЗА

6.1 Список рек и морфометрическая характеристика речной сети

Как показано ранее, изучаемая территория является частью Северо-Западного Кавказа, именуемая также Черноморским побережьем Кавказа, и включает территорию Анапского и Туапсинского районов Краснодарского края, Сочинский национальный парк, а также сопредельную городскую территорию курорта Большой Сочи и горную часть Кавказского биосферного госзаповедника.

Особенностью региона в гидрологическом отношении является то, что район представляет собой замкнутый бассейн с резко очерченным контуром, внутри которого происходит почти полностью 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.

Речная сеть любой территории является результатом взаимодействия сложных физико-географических процессов: климатических, гидрологических, геоморфологических и других. Речной сток служит своеобразным интегральным показателем этого процесса При этом образовавшаяся речная сеть, а также характеристики основной реки и речного бассейна взаимосвязаны.

Установлено, что речная система является формой отражения естественного физико-географического процесса, причем началом отсчета в этой системе является первичная долина как первичная форма концентрации склонового стока и первичного образования неруслового потока. В горных условиях **речная сеть включает** не только постоянно действующие водотоки, но она включает и те временные (нерусловые) потоки, которые завершают процессы формирования склонового стока и переносят размытый склоновый твердый материал в постоянно действующие водотоки и речки. **Поток (долина) I порядка** является физи-

ческой границей, разделяющей ручейковую склоновую сеть и речную сеть.

Выше приведены зависимости, показывающие генетическую связь между величиной стока и площадью бассейна. Доказано, что с увеличением площади возрастает минимальный сток и уменьшается максимальный и средний за сезоны. При этом регулирующая емкость водосбора обусловлена не только размерами водосбора, но и его уклоном. Площадь водосбора сама по себе является регулятором стока: чем больше водосбор, тем больше зарегулированность стока.

Установлено, что для исследования закономерностей пространственного распределения и хронологической 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, свойственных рядам гидрологических величин, осуществлено на основании использования теории случайных событий и теории вероятностных (случайных) процессов.

Ранее показано, что экспериментальное изучение гидрологических свойств территории проводилось двумя методами: ***стационарным и экспедиционным***, каждый из которых дополняет друг друга. ***Стационарным методом*** получены все элементы гидрологии района, но только для репрезентативных водосборных бассейнов. ***Экспедиционным методом*** были получены опытные данные на больших площадях и в различных условиях, что позволило более точно усреднить характеристики изучаемых параметров по площади.

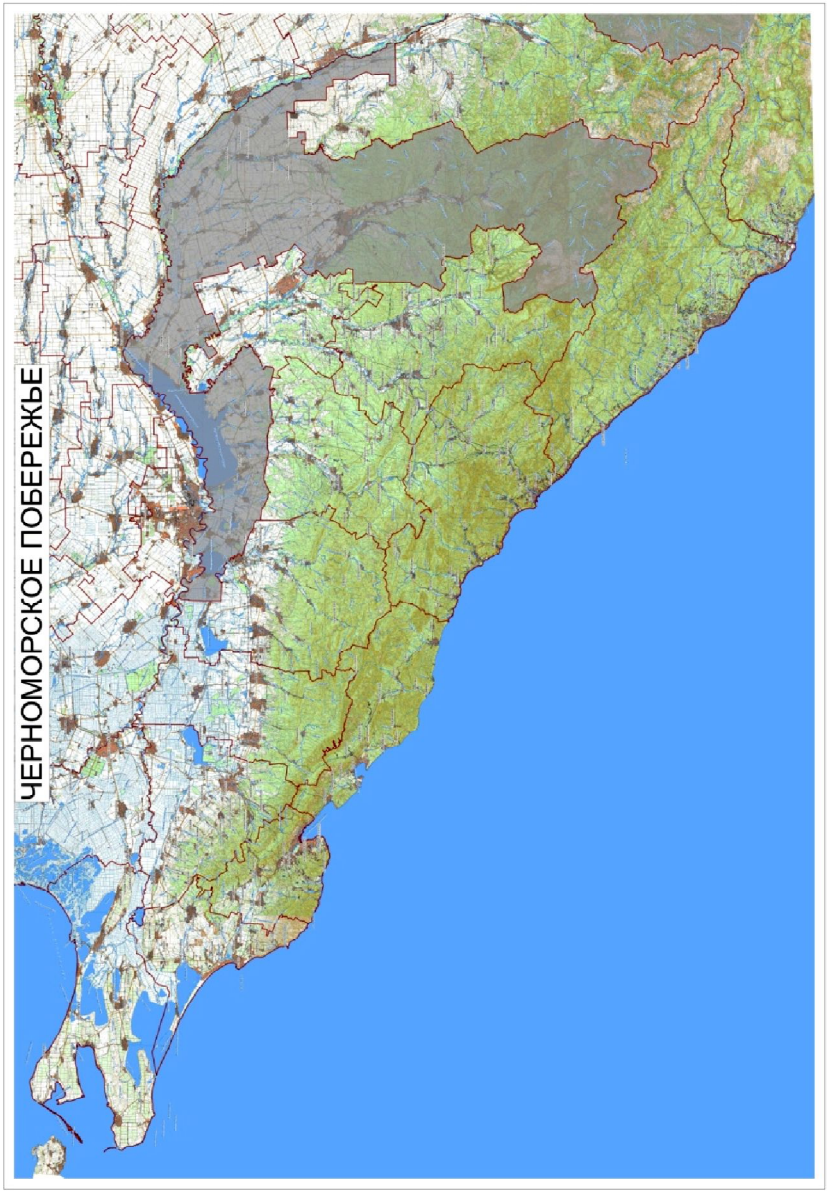


Рисунок 38 – Речная сеть Черноморского побережья Кавказа

Гидрографическая сеть Сочинского Причерноморья представлена сравнительно небольшими реками, впадающими в Черное море (рис. 38, 39). Непосредственно в море впадают 80 рек, а остальные являются притоками первого, второго и следующих порядков. Средний модуль стока рек составляет 60-70 л/сек с 1 км^2 и значительно увеличивается от устьев рек к истокам. В маловодные годы даже некоторые реки в устьевых частях полностью теряют поверхностный сток. Реки имеют паводочный водный режим, при этом паводки имеют в основном дождевое происхождение. Число паводков составляет в среднем 25-30 в год. Паводки характеризуются кратковременностъю (в среднем до 5-6 суток) и большой интенсивностью подъёма уровня воды (от 1-2 до 4-5 м и более). Руслоформирующие паводки возникают при выпадении интенсивных ливней, превыщающих 80 мм.

Таблица 34- Список основных рек и их притоков
(в алфавитном порядке)

Начало списка		Продолжение списка		Окончание списка	
№№ п/п	Название реки	№№ п/п	Название реки	№№ п/п	Название реки
1	Агуа	31	Дюрсо	62	Псоу
2	Адербиевка	32	Джанхот	63	Понежина
3	Агура	33	Джубга	64	Свирка
4	Агурчик	34	Деде	65	Сочи
5	Ажек	35	Змейка (река, Кудепста)	66	Старики
6	Ажу	36	Кабак	67	Сукко
7	Аркава	37	Кепша	68	Туапсе
8	Ац	38	Кеша	69	Ту
9	Ачипсе	39	Киет	70	Уч-Дере
10	Аше	40	Колихо	71	Ушха
11	Анапка	41	Кичмай	72	Хаджипс
12	Аше	42	Куапсе	73	Хаджуко
13	Безуменка	43	Кудепста	74	Хекуай
14	Бекишей	44	Лаура	75	Херота

15	Беранда	45	Лоо	76	Хобза
16	Бешенка	46	Магри	77	Хоста
17	Бзугу	47	Макопсе	78	Ходжико
18	Бзыч	48	Матросская	79	Цаныk
19	Битха	49	Мацеста	80	Цемес
20	Бетта	50	Медовеевка	81	Цусхвадж
21	Бочаров ручей	51	Мзымта	82	Чвижепсе
22	Большая Херо-та	52	Монашка	83	Чимит
23	Буу	53	Москага	84	Чухукт
24	Верещагинка	54	Мусин-Пушкинская балка	85	Шахе
25	Вулан	55	Нечепсуго	86	Шепси
26	Годлик	56	Неожиданная	87	Шапсуго
27	Гостагайка	57	Псахе	88	Шуюк
28	Дагомыс	58	Псахо	89	Якорная Щель
29	Дикарка	59	Псезуапсе	90	Яшамба
30	Дооб	60	Псий		
		61	Озерейка		

Примечание - Источники: http://sochiotdih.ru/reki.htm, http://vsereki.ru/atlanticheskij-okean/ bassejn-chyornogo-morya/sochi, http://www.gorodsochi.u/info/rekreaciya/reki/reka_sochi.html, http://www.evpatori.ru/tajna-nazvaniya-sochi.html

По гидрологическому режиму реки района можно разделить на две группы. К первой группе относятся реки, берущие начало с Главного Кавказского хребта (р.р. Мзымта, Псоу, Лаура, Ачипсе и другие), в питании которых существенную роль играют ледники и многолетние снежники высокогорья. Ко второй группе относятся реки, берущие начало с отрогов Главного Кавказского хребта, питание которых происходит в основном за счет жидких атмосферных осадков и подземных вод (притоки рек Псоу, Мзымты, Сочи, Шахе и др.) (табл.34).

Проведенные исследования на 6 реках юго-восточной части Черноморского побережья по измерениям расхода воды показали, что при изучении русловых процессов определение энергетических потерь в потоках является одним из важнейших задач как с точки зрения тео-

ретической, так и практической. В практике гидротехнических расчетов открытых русел пользуются формулой Шези для равномерного движения в руслах. В следующей главе приведены результаты **более 1500 измерений** расходов воды гидрометрической вертушкой на реках, которые даны в виде графических и аналитических зависимостей, позволяющих рассчитывать скорости потока при катастрофических паводках.

Как следует из приведенного материала монографии, основная часть его посвящена анализу формирования склонового стока на элементарных водосборах (притоках первого порядка), где формируется речной сток. Определен размер элементарных водосборов - в зоне буковых лесов - 23-30 га, в зоне дубрав - 30-50 га. Установлено, что стокообразующие факторы (осадки, радиационный режим и др.) формируют различные виды стока (поверхностный, склоновый, грунтовый) и подчиняются закону географической зональности. Факторы подстилающей поверхности имеют обычно местное значение и относятся к разряду азональных факторов (сюда же относится и лесная растительность с разными видами хозяйственной деятельности).

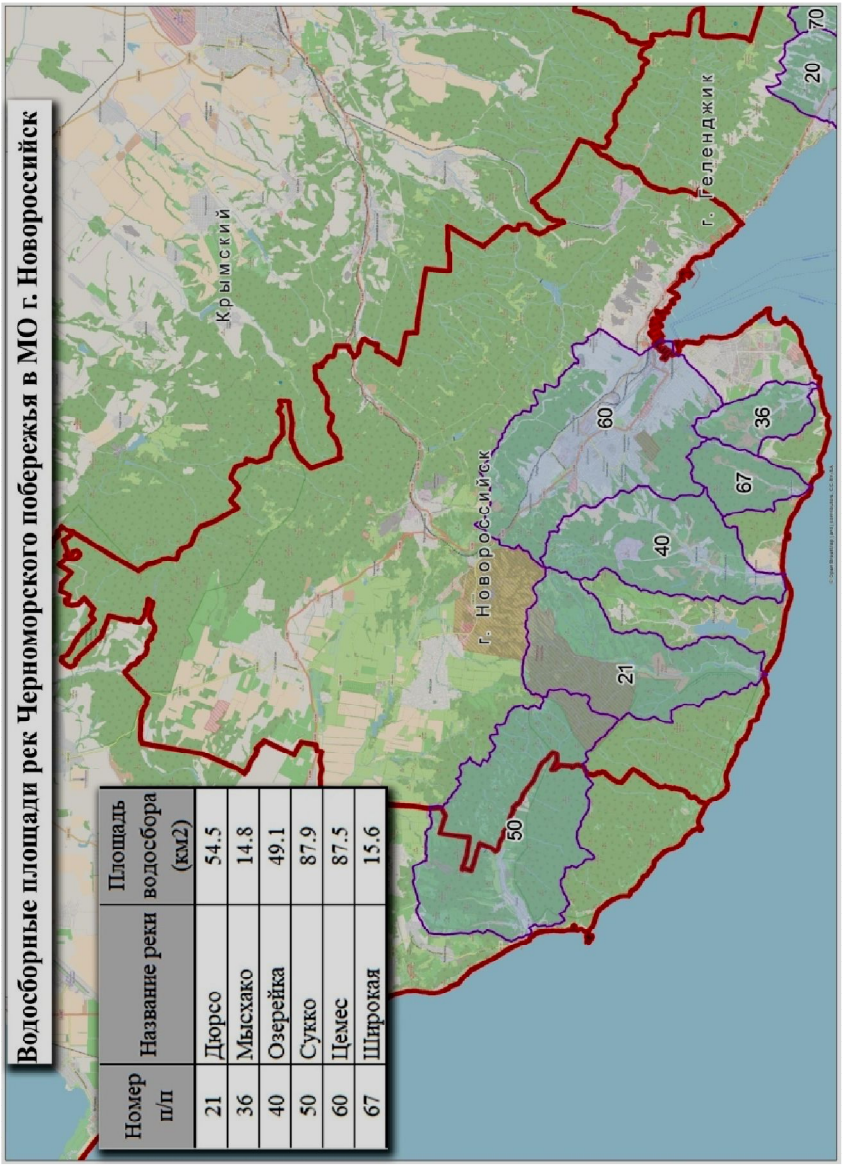
На экспериментальном материале показано влияние на склоновый сток метеорологических факторов (количество осадков и форма графика дождя, влияющие на динамику поступления воды в бассейн), а также подстилающей поверхности, определяющей процессы инфильтрации и стекания воды и потери стока. Приведены формулы, показывающие что склоновый сток формируется за счет превышения интенсивности ливня над минимальным впитыванием. При этом из-за чрезвычайной сложности взаимосвязей факторов стока описать математическими зависимостями процесс формирования стока является очень трудной задачей. В основу обобщения результатов экспериментальных исследований и определения расчетных формул положен генетический анализ комплексного явления фильтрации и стока.

Рисунок 39 – Водосборы Черноморского побережья Кавказа

По экспериментальным данным приведена классификация по форме графиков дождей, учитывающая характер и продолжительность ливня.: По многолетним данным изучено влияние снежного покрова на формирование речного стока. Так, для южного макросклона Северо-Западного Кавказа на высотах более 1200 м над ур. м. более половины зимних осадков (XI-III) аккумулируется в снежном покрове и расходуется в весенне-летний период - с апреля до середины июня. Получена зависимость коэффициента снегонакопления от высоты над уровнем моря. Для основных рек (Мзымта, Шахе и др.) высокогорья составляют более половины площади их бассейнов. Так, для р. Шахе высотная зона 1000-3000 м над ур.м. равна 319 км^2 (58% площади водосбора), для р. Сочи - 130 км^2 (44%), для р. Мзымты - 355 км^2 (40%). На высокогорных частях бассейнов рек 60-80% и более от суммы осадков, выпадающих в холодный период года, зарегулированы снежным покровом. Следствием расходования аккумулированных в зимнее время осадков является то, что на реках, имеющих высокогорья, объем стока в апреле - мае достигает 40-44 % от всего годового стока, а вариация годового стока в многолетнем разрезе наименьшая – C_v =0,16-0,21.

Разработана вероятностная схема расчета максимальных расходов воды (а также суточных максимумов осадков) по кривым обеспеченности, с помощью которой можно установить расчетное значение при нормативной вероятности ежегодного превышения Р. При этом нормируется не только величина обеспеченности ежегодного превышения (Р), но и уровень значимости q (уровень доверительной вероятности), характеризующий уровень гарантии расчета максимального расхода воды, соответствующий классу капитальности сооружения или лесонасаждения.

Исследования генезиса стока на склонах под буковыми насаждениями позволили разработать для расчёта коэффициентов паводочного стока эмпирические зависимости, учитывающие предварительное увлажнение бассейна и график паводкообразующего дождя.



Номер п/п	Название реки	Площадь водосбора (км2)
21	Дюрсо	54.5
36	Мысхако	14.8
40	Озерейка	49.1
50	Сукко	87.9
60	Цемес	87.5
67	Широкая	15.6

Рисунок 40 – Водосборы крайней северо-западной части региона ЧПК

По материалам опорной сети Росгидромета были подобраны 12

гидрометрических створов на 9 реках региона с площадями водосборов от 14,6 до 1850 км^2 (бассейны рек Белой, Пшехи и Псекупса - на ***северном макросклоне*** региона, и рек Мзымты, Псий, Дюрсо, Шахе, Туапсе и Вулана - **на *южном макросклоне***). Для некоторых гидрометрических постов и станций понадобилось удлинение рядов наблюдений - с целью получения однородных данных, корректных для оценки их статистических характеристик. На рис. 40-43 даны схемы расположения основных водосборов рек по отдельным частям региона ЧПК.

Для удлинения рядов использованы корреляционные зависимости, как правило, имеющие линейный вид и коэффициенты корреляции от 0,63 до 0,96. Длина рядов наблюдений была увеличена до 57…60 лет. Каждый ряд наблюдений подвергнут статистической обработке для получения статистических характеристик годовых слоев стока.

Аналогичная работа проведена и по годовым и сезонным суммам осадков по 11 метеостанциям и постам, а также и 20 гидростворам, которые послужили исходными данными для анализа особенностей климата и стока региона Северо-Западный Кавказ. При этом анализ стока проведен в многолетнем разрезе (для сезонов и гидрологических лет), причем сток был переведен в относительные величины (модульные коэффициенты, представляющие отношения годовых значений стока к норме стока). Установлено, что цикличность осадков и речного стока для отдельных частей региона носит общий характер, что облегчает задачу определения периода и размеров изменения стока на водосборе под влиянием изменения состояния лесной растительности.

Анализ географических факторов формирования стока позволил получить уточненную оценку пространственного распределения его характеристик с учетом размеров и высоты водосборов, предложены эмпирические зависимости для расчета годового стока в условиях недостаточной гидрологической изученности.

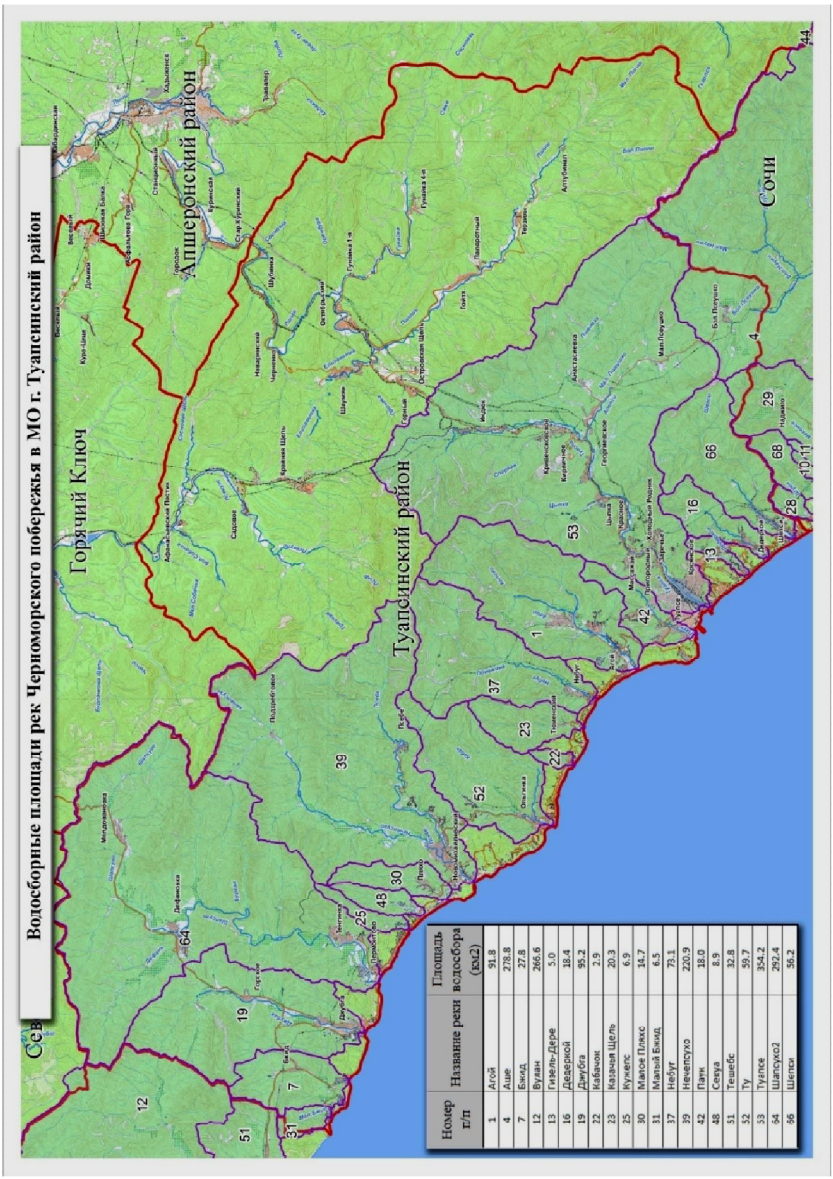


Рисунок 41 – Водосборы центральной части региона ЧПК

Рисунок 42 – Водосборы юго-восточной части региона ЧПК

Рисунок 43 – Водосборы крайней юго-восточной части региона Черноморского Побережья России

6.2 Формирование и внутригодовое распределение стока рек

К какому бы типу питания ни принадлежала та или иная река, ее средний многолетний сток зависит прежде всего от осадков и испарения. Все остальные факторы – рельеф, почвы, растительный покров, геология и прочие – влияют на средний сток, поскольку они воздействуют на количество осадков и испарение.

Северо-Кавказский регион включает в себя разнообразные ландшафтные зоны – от зоны степей и полупустынь на северо-западе до арктической зоны высокогорного Кавказа на юго-востоке. Эта зональность ландшафтных условий, в свою очередь, определяет зональность в распределении среднего многолетнего стока: широтную – для рек, расположенных в пределах степей и полупустынь равнины, вертикальную – для горных рек региона.

Формирование и распределение среднего годового стока по территории горной области Северного Кавказа обусловлено разным соотношением тепла и влаги на различных уровнях земной поверхности. Под влиянием увеличения количества осадков и понижения температуры воздуха с ростом абсолютной высоты в горных районах сток резко возрастает. Именно поэтому максимальные величины стока, превышающие 1500 мм, как правило, наблюдаются в горах. Однако существует довольно много исключений из этой закономерности, обусловленных ориентацией склонов по отношению к движению влагоносных воздушных масс, доступностью их этим массам и особенностями синоптических процессов. Так, наличие карста в сочетании с повышенной увлажненностью обеспечивает очень высокую водность **малых рек Причерноморья**. Средний многолетний сток рек колеблется на побережье от 780 до 2110 мм. Исключение составляют реки Гастогай, Дюрсо, Пшада. Они характеризуются небольшими площадями (до 100 км^2), малыми уклонами, протекают практически на равнине ($H_{ср.взв.}$ = 160…240 м) и отличаются относительно небольшой водностью (71…279 мм). Граница карстовой зоны в районе проходит от устья р.Шахе до границы региона, чему соответствуют и максимальные величины стока: р.Шахе –

2110 мм, р.Сочи – 2090 мм (Балков, 1970).

Весенне-летнее половодье и паводки в течение всего года свойственны рекам северо-западных склонов Большого Кавказа со средними высотами водосборов от 900 до 2000 м, рекам бассейна Кумы, высокогорного и внутригорного Дагестана (выше 1500 м) и рекам Черноморского побережья – Мзымта и Шахе. Начинается оно примерно в третьей декаде марта, повсеместно заканчивается в сентябре–октябре. Ранние сроки начала половодья приходятся на вторую декаду февраля, поздние – на третью декаду апреля. Максимальные расходы воды в этот период являются наибольшими годовыми и проходят в начале июля. Наибольшие наблюденные максимумы составляют 150…300 л/с · км^2. Спад половодья, как и подъем, происходит медленно и регулируется ходом температуры воздуха, форма гидрографа многоступенчатая с нечетко выраженными пиками.

Весенне-летнее половодье отмечается также на реках Шахе и Мзымта Черноморского побережья. На р.Шахе у с.Солох-Аул максимальные расходы половодья, как правило, превышают максимальные расходы паводков. Расход воды 1%-й обеспеченности половодья равен 708 м^3/с, а дождевых паводков этой же обеспеченности – 414 м^3/с (Ресурсы поверхностных вод, 1964, 1975).. На р.Мзымте у пос.Казачий Брод максимальные годовые расходы могут наблюдаться как в период половодья, так и при осенних дождевых паводках.

Основным фактором, определяющим формирование и распределение меженного стока на реках горной территории Северного Кавказа, является климат, находящийся в прямой зависимости от орографии района. В связи с этим наблюдается уменьшение увлажненности с запада на восток при увеличении осадков с высотой, такой же характер носит и распределение меженного стока.

В горных районах наблюдается как зимняя, так и летне-осенняя межень. Определяющим фактором зимней межени является режим температуры воздуха: для летней, кроме температуры, значительную роль играет и режим осадков. Существенное влияние на меженный сток оказывает хозяйственная деятельность, приводящая к значительному

уменьшению меженных расходов, а нередко и к полному прекращению стока.

Исключительно благоприятными условиями подземного питания отличаются малые реки Черноморского побережья Кавказа, начиная от устья р.Шахе и до границ региона, что связано с повышенной увлажненностью района и распространением хорошо обводненных закарстованных пород. Величина подземного питания в районе г. Сочи оценивается в 14…15 л/с · км^2, коэффициент подземного стока достигает 15…20%, доля подземного питания – 20…30%.

Для рек Черноморского побережья, относящихся к группе рек, берущих начало с Главного Кавказского хребта, характерно хорошо выраженное половодье в теплый период года, частые осенние паводки и устойчивая зимняя межень. В верховьях крупных рек этой группы главным источником питания являются ледники, сезонные и многолетние снежники; вниз по течению возрастает роль дождевого и грунтового питания. Весенне-летнее половодье на реках, вызванное интенсивным снеготаянием и дождями, начинается в марте. Максимальный уровень воды на реках отмечается в мае, сдвигаясь иногда на апрель или июнь. С июня до конца августа – начала сентября происходит постепенный спад, постоянно нарушаемый 5-8 дождевыми паводками. В сентябре-ноябре вновь наблюдаются подъемы уровня, вызванные прохождением 3-6 паводков. Высота подъема уровня во время весенне-летних паводков 0,5-2, осенних до 3 м. Продолжительность паводков составляет 3-20 дней. С октября-декабря уровень вновь постепенно понижается, достигая минимальных значений в январе-феврале. Однако в нижнем течении рек и в зимнее время возможны кратковременные подъемы уровня воды, связанные с выпадением дождей. Устойчивых ледообразований не наблюдается. Имеют место лишь кратковременные забереги, а в наиболее суровые зимы в верховьях рек образуется донный лед и шуга.

Уровенный режим рек второй группы, берущих начало с отрогов Главного Кавказского хребта, характеризуется слабо выраженным весенним половодьем и высокими дождевыми паводками в остальное время года. Всего на реках этого типа за год проходит 15-25 паводков

продолжительностью по 1-3, реже 10-20 дней. Высота подъема уровней 0,5-1,5 м. Один раз в 20-30 лет наблюдаются катастрофические паводки, вызывающие значительные разрушения. Ледовые явления (забереги) отмечаются лишь на мелких реках и в верховьях крупных рек. Ледоход отсутствует. Расходы рек в меженный период не превышают 60, чаще составляют 10 $м^3/с$, а в паводок достигают 540-559 $м^3/с$.

Процессы подтопления и затопления отмечены в основном в пойменных частях крупных рек Мзымта, Псоу, Сочи, Шахе, а также в пределах Имеретинской низменности и в береговой зоне междуречья Мзымта-Кудепста. Затапливаемая площадь здесь составляет от 10 до 100%. Последняя величина характерна для низовьев р. Мзымта во время высоких и катастрофических паводков. Как правило, затапливаемая территория подтапливается грунтовыми водами не только во время паводков, но и в межпаводковые периоды (кроме засушливых интервалов). Однако, охваченная подтоплением площадь заметно меньше. Причиной развития процессов затопления и подтопления на указанных территориях является накопление значительных объемов аллювия в приустьевых частях речных русел, что связано с зарегулированием русел, резким сокращением водности водотоков в результате активного водоотбора. Таким образом, в приустьевой части русел рек сформированы естественные запруды, затрудняющие пропуск паводковых вод и поднимающие уровень водотока в среднем течении на 1,0-1,5 м выше ранее существующего. Во время периодов длительных ливневых осадков уровни грунтовых вод на обширной территории освоенных речных террас в результате этого поднимаются выше.

Высокие уровни грунтовых вод в результате инерционности процесса подтопления удерживаются в течение нескольких дней после прекращения интенсивных осадков. В настоящее время производится осуществление мероприятий по снижению угроз затопления и подтопления территорий методом расчистки русел от излишков аллювиальных накоплений и создания искусственных пропускных каналов с параметрами (площадь сечения, уклон днища, обваловка откосов), позволяющими беспрепятственно пропускать паводковые воды.

6.3 Характеристика водного режима основных рек региона

Река Мзымта и её притоки. **Река Мзымта** занимает особое положение в гидрографической сети г. Сочи по особенностям гидрологического режима, который выводит эту реку на первое место по запасам подземных пресных питьевых вод. Форма гидрографа этой реки несколько отличается от гидрографа остальных рек. Причина этого – относительно большая площадь водосбора, включающая в основном высоты более 1000 м. Как следствие, в бассейне р. Мзымты накапливается значительное количество снега в зимние месяцы. В верховьях бассейна расположена группа ледников, которые влияют на режим питания этой реки, водный режим реки Мзымты изменяется от истока к устью и определяется с одной стороны обилием выпадающих осадков и таяние снегов, а с другой - большой амплитудой высот водосборной площади. Поэтому верховья реки характеризуются весенне-летним подъемом (пос. Красная Поляна), а нижняя - паводочным режимом -пос. Казачий Брод). В период летне-осенней межени нередко наблюдаются паводки, иные ливнями (летом) и продолжительными обложными дождями (осенью).

В питании реки основная роль принадлежит дождевым (50-55%) и подземным (25-30%) водам. Сезонное снеговое питание составляет 15-20% стока. Поскольку в бассейне р. Мзымта площадь обледенения незначительна, доля ледниковых вод в общем стоке не превышает 0,5%. Распределение стока в течение года неравномерное несколько отличное от других рек района. Максимум стока приходится на май-июнь. За весну и лето проходит 48-73% общего годового стока, в то время, как за зиму всего 12-34%. Основные составляющие уравнения водного баланса бассейна р. Мзымта имеют следующие значения: осадки -2108 мм, испарение -533 мм, сток - 1575 мм.

Как отмечено выше, Мзымта является самой крупной рекой Черноморского побережья в пределах Краснодарского края. Долина её в верховье имеет вид узкого глубокого ущелья, загроможденного огромными валунами и глыбами. В устьевой части реки долина реки неясно

выраженная, низменная, шириной до 5 км. Пойма реки двухсторонняя, затапливается дождевыми паводками. Русло реки разветвленное, блуждающее. Ширина русла Мзымты составляет 6-30 м, глубина 0,5-1,5 м, скорость течения 0,4-1,8 м/с. Притоки Мзымты имеют ширину 6-25 м, глубину 0,5-1,2 м, скорость течения 1-2 м/с. Реки, в основном, текут в узких и глубоких долинах. Формы долин ущельевидные, V-образные и лишь в равнинной части ящикообразные. Русла рек извилистые, неразветвленные, при выходе на равнину слаборазветвленные. В горной части берегами служат склоны долин, в равнинной – уступы террас высотой до 10 м. Грунт дна валунный и валунно-галечный. Реки характеризуются весенне-летним половодьем и весенне-осенними паводками. Во время половодья и паводков реки превращаются в бурные, непреодолимые потоки; преобладающая высота подъема воды до 2.0 м над меженным, скорость течения достигает 2,5-3 м/с. Ложе реки валунно-галечное, деформирующееся.

Максимальный расчетный расход при 1% обеспеченности р. Мзымта в р-не Красной поляны составляет 354 м3/с. Наибольший подъем уровня в реке по данным г/поста Казачий Брод наблюдался в октябре 2003 года. Уровень превысил опасную отметку и (более 420 см.). Максимальный расход обеспеченностью 0,9 % составил 750 м3/сек. В результате этого подъема был разрушен висячий мост в районе поста, смыт строящийся временный мост для отвода автотранспорта с существующего моста у рынка. Отмечено подтопление огородов и строений вдоль реки.

Река Лаура. Гидрометрический пост расположен в 0,2 км на восток от кордона Лаура и в 0,15 км ниже места впадения р. Ачипсе в р. Лауру. Долина реки трапецеидальная, шириной 130-180 м, склоны крутые, сильно расчленены. Высота водораздельных хребтов до 2,5 км. Склоны сложены скальными породами, покрыты слоем эллювиально - делювиальных суглинков 0,2-0,5 м, на котором сформированы горно-лесные дерново-карбонатные почвы. Пойма правобережная, шириной до 130 м, густо поросла лесокустарником. Русло извилистое, галечно-валунное, часто деформирующееся. Берега крутые, 1-1,5 м. Макси-

мальный расчетный расход 169 м3/с.

Река Шахе. Сходный гидрограф с Мзымтой имеет р. Шахе - вторая по площади водосбора река района. Для нее характерен переходный тип гидрологического режима. В период с апреля по июль на гидрографе р. Шахе прослеживается плавное увеличение стока, сформированное весенним снеготаянием. Однако его амплитуда в перераспределении стока значительно меньше, чем у Мзымты. Увеличивается и количество высоких дождевых паводков, накладывающихся на гидрограф. В годовом распределении стока заметно возрастает объем стока за зимние месяцы (XI-III), что характерно для большинства менее крупных рек а (р.Сочи, р.Зап.Дагомыс и др.). Но по сравнению с этими реками р. Шахе имеет более плавный гидрограф и гораздо меньший период в году с меженными расходами воды.

При сопоставлении гидрографов стока рек района с ходом осадков обнаруживается их полное соответствие, позволяющее выявить общие закономерности формирования паводочного стока в зависимости от обусловливающих его факторов: интенсивности и количества выпавших осадков, предшествующей увлажненности бассейна. Частое выпадение дождей, большие уклоны русел рек и склонов их долин способствуют формированию быстрых паводков, продолжительность которых определяется продолжительностью выпадающих осадков и временем добегания дождевых вод до замыкающего створа реки.

Река Сочи. В районе **Сочи** количество паводков в году велико, причем увеличивается в направлении с северо-запада на юго-восток - от 16 (в среднем за многолетний период) для р. Туапсе до 29 для р. Сочи. На р. Мзымте паводков меньше - до 17-24 в году, что обусловлено выпадением большего количества осадков в виде снега в бассейне р. Мзымта по сравнению с бассейнами других рек. При этом не всегда многоводном году количество паводков наибольшее, а в маловодный - наименьшее. Это объясняется различием паводков по величине: небольшое число многоводных паводков дает большой объем годового стока, и наоборот - множество небольших паводков не дают значительного увеличения водности года.

Большинство паводков характеризуются кратковременностью и интенсивностью подъема уровней воды в реках. При особенно сильных ливнях в верховьях рек паводки проходят в виде высокого вала воды. Во время прохождения паводков на реках обычно наблюдается карчеход. Такие пики паводков, как правило, держатся в течение 1 -2 ч. и менее. На гидрографе среднесуточных расходов воды вырисовывается общее увеличение стока, гораздо более сглаженное. При этом продолжительность подъема уровней воды при паводках, составляет в среднем 3-5, спада - 8-10 суток. Это имеет большие негативные последствия для экономики города, так как паводки сопровождаются большими разрушениями всех объектов, расположенных по берегам рек.

Река Псоу и ее притоки. Река Псоу берет начало на южном склоне восточной части хребта Аибга из родника, расположенного в 4,4 км к западу от горы Агепста (3261 м) на высоте 2160 м, впадает в Черное море у западной окраины с. Леселидзе. При впадении река разделяется на два рукава, каждый длиной около 0,6—0,7 км, причем наиболее многоводным является правый.

Река имеет длину 56 км, средневзвешенный уклон 38,4‰ Основными притоками ее являются реки Беш (длина 11 км) и Пхиста (длина 13 км). Остальные притоки мелкие. В бассейне насчитывается 158 рек, обшей протяженностью 430 км. Средняя густота речной сети 1,02 км/км2. Бассейн реки занимает площадь 421 км^2, его средняя высота 1110 м. Форма бассейна асимметричная. Водосбор реки на севере и западе ограничен хребтом Аибга, имеющим высоту 1200—2700 м, на юго-востоке границей служит хребет Тепе-Баши с вершиной Ах-Аг (2736 м).

Ширина реки изменяется от 4 м в 6 км выше с. Аибга, 10-15 м на участке ущелья до 50-53 м у устья, преобладающая 10 м в горной полосе и 30 м в нижнем течении.

Глубины колеблются от 0,6 м (с. Михельрипш) до 2,1 м (в 2,6 км выше устья), преобладает глубина 1 м. Скорости течения 0,7-2 м/с, преобладают 1,2 м/с. Дно потока на большом протяжении неровное, галечно-каменистое, местами (в верховьях) каменистое. На участке ущелья –

крупновалунное.

Берегами реки от истока до с. Михельрипш являются преимущественно крутые или обрывистые подножья склонов долины. В нижнем течении они галечно-каменистые и умеренно разрушаемые, высотой 0,2-0,4 м, реже 1,5-3 м (вдоль террас).

Водный режим реки изменяется по ее длине. В верховьях ежегодно формируется снеговое более или менее продолжительное (III—VII) половодье. Наблюденный максимум уровня половодья отмечается обычно в мае. Вниз по течению реки, по мере приближения к морю, половодье распластывается и имеет относительно небольшую амплитуду колебаний уровня порядка 0,5-0,8 м. Для нижнего течения обычно характерен паводковый режим. Наибольшее количество паводков (6-15) приходится на осенне-зимний (IX-II) период, при этом высота паводков достигает 0,5-1,5 м. Оттепели и зимние дожди повышают предпаводковую межень в среднем на 0,2-0,4 м.

Летний период (VII-VIII), а также начало осени (IX) характеризуются низкой меженью, изредка нарушаемой невысокими (0,5-0,8 м) паводками. Река имеет снеговое, дождевое и грунтовое питание. Около 60% годового стока река проносит в период весеннего половодья (март-июнь). Наибольшие расходы за короткий период (8 лет) достигали 327 $м^3/с$ (18 мая 1932 г.), наименьшие составляют 2,60 $м^3/с$ (6 февраля 1931 г. и 26, 27 сентября 1935 г.).

В ближайших к р. Псоу бассейнах и в самом бассейне реки отмечаются **селевые явления.** Так, в долине р. Мзымты в ущелье Ахцу прошел водно-каменный склоновый сель, занесший Краснополянское шоссе. В долине р.Шахе поток такого же типа занес сады и огороды на левом приустьевом склоне, селевой насыщенный грязекаменный поток из ручья на 11 км (правый приток р.Псоу) разрушил местную автодорогу и постройки базы отдыха санатория «Россия». Селевые потоки имеют преимущественно турбулентный характер движения, водно-каменный состав и слабую насыщенность обломочным материалом. Они движутся одним или рядом последовательных валов со скоростью 5-7 м/с. Для возникновения селей необходимо несколько предпосылок: наличие ук-

лонов более 20^0, неустойчивые (легко размываемые) породы, значительные и интенсивные осадки, а также техногенные нарушения (вырубка, раскорчевка, распашка и т.п.). При этом объем твердого стока растет от верховьев к устьям. Соответственно в этом направлении растет и разрушительная деятельность селевого потока.

Ледовые явления имеют место преимущественно в верховьях реки и заключаются в образовании заберегов и наледи на камнях. Они кратковременны и наблюдаются обычно в период с декабря по февраль. Среднемесячная температура воды в январе колеблется в пределах 3,7- 6,7 °С, к лету она возрастает и в августе достигает 14,8—21,7 °С.

Ледовые образования на р.Псоу отмечаются в течение короткого периода лишь в верховьях и частично в среднем течении в виде шуги и заберегов. В наиболее холодные месяцы (январь, февраль) в верхнем течении наблюдается образование ледяных мостов шириной 10-30 м. Возможно переохлаждение воды и образование донного льда и шугохода. Наибольшее число дней с шугой за зиму может достигать здесь по ориентировочным оценкам 20.

Река Псоу в верховьях относится к рекам с весенне-летним половодьем. Половодье наступает в конце марта - начале апреля, достигает максимума в июне, после чего отмечается уменьшение расходов до конца года, когда устанавливается зимняя межень. На период всего половодья приходится 60-65% годового стока. Сток зимнего периода изменяется в пределах 5-10% годового. Средние многолетние величины годового стока отличаются сравнительно высокими значениями (40-50 л/с·км^2). Гидрографы реки характеризуются наличием одного максимума в период ясно выраженного весеннего половодья, сдвинутого на май-июнь в зависимости от высоты водосбора, и второго максимума в период осенних дождевых паводков. Минимум наблюдается в основном зимой.

Среднюю и нижнюю части р.Псоу по типу режима можно отнести к рекам с весенне-летним половодьем и дождевыми паводками. К источникам питания реки в этой зоне, кроме снеговых, прибавляются

еще и дождевые воды. Половодье растягивается частично и на летний период благодаря тому, что большая часть запасов снега, находящихся высоко в горах, не успевает растаять к концу весны. Например, на июнь и июль приходится около 15-25% годового стока, т.е. несколько меньше половины объема половодья. В период половодья наблюдаются пики, вызванные дождями, вследствие чего максимальные расходы воды в этот период часто смешанного происхождения. Дождевые паводки летом и осенью кратковременны.

В верховьях бассейна р.Псоу, область питания которой расположена преимущественно высоко в горах, роль талых вод в формировании максимумов повышается. Причем в отдельные годы в талодождевом стоке превалирует снеговая составляющая, и максимумы проходят в весенне-летний период, а в других - преобладает дождевая составляющая, и максимумы наблюдаются осенью. Для оценки максимальных расходов воды расчетных вероятностей превышения р.Псоу использовано обобщение наблюдений по другим рекам района.

За период половодья (март-июль) сток в среднем составляет 40-62% годового. Наибольший средний месячный сток, порядка 17-20% годового наблюдается преимущественно в мае. Наименьший средний месячный сток составляет 2-4% и наблюдается обычно в августе-сентябре. Значения среднего многолетнего стока в средней части бассейна составляют примерно 30-40 л/с·км^2.

По приближенным оценкам средний годовой расход воды в верховьях р.Псоу до впадения р.Баши составляет 9,8 м^3/с, после впадения р.Баши – 12,7 м^3/с. На участке ущелья после впадения р.Аравки средний многолетний расход воды достигает 14,9 м^3/с, а у с.Леселидзе –18,0 м^3/с.

6.4 Твердый сток и химический состав воды на реках Черноморского Побережья Кавказа

6.4.1 Оценка фоновой эрозии в бассейнах горных рек региона

Эрозионные процессы в бассейнах горных рек проявляются постоянно, и разделяются на плоскостную эрозию (разрушение почвенного покрова за счет энергетического воздействия ливней и выветривания, и последующая транспортировка почвенных частиц энергией текущих вод) и русловую (разрушение и транспортировка почвогрунтов в руслах ручьев и рек).

Интенсивность эрозионных процессов определяется наличием эрозионного материала и энергией склонового стока вод, которая в свою очередь, зависит от массы текущей воды и ее скорости (ведущие факторы - длина склона и его крутизна). В подготовке эрозионного материала активную роль играет технологические разрушения почвенного покрова (сведение растительности на склонах, прокладка дорог и волоков, подготовка почвы под посевы и посадки и т.д.), а также оползневые процессы на горных склонах.

При отсутствии технологических воздействий на поверхность почвенного покрова на водосборах рек и ручьев наблюдается эрозия, которую условно можно назвать **фоновой эрозией.** Величина эрозии определяется измерением твердого стока в замыкающих створах ручьев и рек, т.е. взвешенных и влекомых наносов. Методически наиболее точными определениями следует считать измерения мутностей воды с дальнейшим расчетом объемов стока взвешенных наносов. Измерения влекомых по дну наносов отличаются сложностью и малой точностью результатов, но по примерным оценкам, сток влекомых и сток взвешенных наносов примерно равны по объемам.

Поскольку плоскостная эрозия на бассейне в основном дает мелкие фракции наносов, можно предположить, что сток взвешенных наносов в замыкающих створах рек характеризует плоскостную эрозию на горных склонах их бассейнов. Разумеется, при таком методе оценки

происходит осреднение показателя эрозии по всему бассейну, и некоторое завышение его за счет русловой эрозии (табл.35).

По данным измерений на ручьях лесогидрологического стационара "Аибга" за период, предшествующий проведению опытных рубок, максимальные мутности воды не превышают 100 - 140 г/м^3, а среднемесячные величины колеблются в пределах 2-11 г/м^3. Расчет стока взвешенных наносов дает величины от 15 до 1075 кг/год, а среднегодовые модули стока наносов достигают 50 кг/га.

Таблица 35 - Среднегодовые модули твердого стока в бассейнах рек региона

№№ п/п	Река, гидроствор	Норма модулей взв. наносов	
		тонн/ кв. км	тонн/ га
1	2	3	4
1	р.Мзымта -р.п.Красная Поляна	300	3,00
2	р.Хоста - пос.Хоста	440	4,40
3	р.Сочи - г.Сочи	440	4,40
4	р.Псезуапсе-с.Татьяновка	340	3,40
5	Р. Аше-с.Аше	310	3,10
6	р.Туапсе-г.Туапсе	370	3,70
7	р.Вулан-с.Архипо-Осиповка	290	2,90
8	р.Адерба-пос.Светлый	250	2,50
9	р.Гастогай - ст-ца Гастогаевская	120	1,20
10	р.Абин - г.Абинск	210	2,10
11	р.Убинка - ст-ца Северская	230	2,30
12	р.Псекупс –г.Горячий Ключ	180	1 ,80
13	р.Киша - Лагерная	55	0,55
14	р.Пшиш - г. Хадыженск	370	3,70
15	р.Курджипс - ст-ца Нижегородская	99	0,99
16	р.Белая - пос.Гузерипль	170	1,70
17	р„Дах- ст-ца Даховская	170	1,70
18	р.Пшеха - с.Черниговское	170	1,70

По материалам справочников "Ресурсы поверхностных вод СССР" [1973, 1975], среднемноголетняя мутность воды р. Мзымты у р.п.Красная Поляна равна 140 г/м^3, а максимальная - 3200 г/м^3, р.Шахе у с.Солох-Аул - 210 и 4600 г/м^3, р.Сочи у г.Сочи - 270 и 7100 г/м^3. В табл.32 приведены среднемноголетние данные о годовых модулях твердого стока (в тоннах с 1 кв.км площади водосбора).

Таким образом, исходя из приведенных материалов наблюдений, можно принять следующие осредненные величины фоновой эрозии:

для зоны буковых лесов - 2,9 - 3,0 т/га за год;

для зоны пихтовых лесов - 0,6 - 0,8 т/га за год;

для зоны дубрав - 1,2 - 1,8 т/га за год.

В настоящее время большое практическое значение приобретают наносы, связанные с изучением стока наносов малых рек Черноморского побережья Кавказа. Учет наносов и изучение условий их формирования необходимы для обоснования проектирования водохозяйственных и гидротехнических сооружений, а также для выявления закономерностей и прогнозов направленности развития русловых процессов в местах расположения опор мостов и высоковольтных линий электропередач, водозаборных и берегозащитных сооружений. Перенос реками твердого материала в море - один из важнейших элементов баланса наносов береговой зоны. Решение проблемы защиты берегов от размыва и восстановления пляжей невозможно осуществить без изучения стока наносов рек. Основными факторами, влияющими на сток наносов, являются:

- климатические условия (осадки и связанные с ними процессы склоновой эрозии);
- геологическое строение (механический состав пород и почв, скорость выветривания материнских пород);
- рельеф земной поверхности (крутизна, длина, форма и экспозиция склонов);
- растительный покров (виды и фазы развития растений);
- антропогенное влияние (характер землепользования).

Воздействие этих факторов неоднозначно: одни способствуют увеличению стока наносов, другие же препятствуют развитию эрозионных процессов. Формированию стока речных наносов благоприятствуют современные тектонические движения и связанная с ними сейсмичность. Кавказ переживает стадию бурного восходящего развития рельефа. Интенсивность поднятия на порядок больше активности денудации. Происходит изменение базиса эрозии, увеличение общей энергии рельефа и речных потоков.

Значительная часть наносов поступает в реки благодаря эрозионным и гравитационным процессам (оползни, осыпи, обвалы и оплывины), наиболее развитыми в среднегорной зоне Черноморского побережья.

Физическое нарушение горных пород наиболее развито в высокогорных областях бассейнов рек, в районах, не имеющих почвенного и растительного покрова, где благодаря климатическим условиям (резкий суточный ход температуры воздуха) происходит интенсивное физическое выветривание.

Находясь в зоне избыточного увлажнения и обладая большой водностью и энергией потока, реки района способны производить огромную эрозионно-аккумулятивную работу. В горных областях реки разрабатывают глубокие ущелья, а при выходе на равнину отлагают большое количество твердого материала.

Основным фактором, препятствующим развитию эрозионных процессов на побережье, является растительный покров, представленный субтропической растительностью приморской полосы с богатым травяным покровом и вечнозелеными кустарниками, смешанным широколиственным лесом предгорий, субальпийскими и альпийскими лугами горных районов. Залесенность большей части территории составляет 90-95%.

Горы Кавказа пока еще слабо освоены земледелием. Площади пашен, садов, виноградников в горах на высотах 500-700 м редко превышают 3-5% общей площади. В целом антропогенный фактор еще мало влияет на денудационные процессы в горах Кавказа. Однако, в тех мес-

тах, где производятся вырубка леса и разработка склонов под культурные растения, происходит интенсивный смыв почвы. Большой вред наносят неправильная или сплошная вырубка леса, низкая культура земледелия. Площадь лесов сокращается и вместе с тем резко увеличивается интенсивность эрозионных и оползневых процессов.

В целом реки Черноморского побережья Кавказа отличаются небольшой мутностью. Средние месячные величины мутности для всех рек, как правило, не превышают 200-500 г/м^3. В паводки мутность рек возрастает. Пики мутности прослеживаются во все сезоны, если им сопутствует выпадение дождя, и чем обильнее и интенсивнее дожди, тем больше мутность воды. Мутность большинства рек в паводки не бывает меньше 1-2 кг/м^3. Следует полагать, что значения несколько, а может быть, и значительно преуменьшены из-за несовпадения основных сроков наблюдения со временем прохождения наибольших мутностей в период дождевых паводков, а также из-за несовершенства приборов для отбора проб в паводки. Большая мутность рек достигает 10-12 кг/м^3, а в отдельных случаях - и более. В периоды выпадения обильных и интенсивных ливней временные водотоки превращаются в бурные несвязные селевые потоки, питающие реки большим количеством твердого материала мелких и крупных фракций). Если при обычном горном паводке мутность, как правило, не превышает 1% объема паводка, то в селях наносы могут занимать от 10-15 до 30% объема селевой массы. В периоды дождевых паводков пики мутности и расходов воды совпадают. Увеличение водности в одни и те же сутки отражается на мутности реки.

На реках Сочинского Причерноморья величина стока взвешенных наносов за летний сезон в среднем составляет 13%, а за осенний - 38% годового стока.

На реках Мзымта, Шахе, истоки которых находятся в области ледников и снежников, которые характеризуются снегодождевым питанием, наибольшие среднемесячные расходы наносов наблюдаются в апрелеиюне в период половодья, наименьшие, как правило, зимой. На реках Сочи, Хоста наибольшие среднемесячные расходы наносов зафиксированы в период осенне-зимних паводков, на малых реках - в период об-

ложных дождевых осадков с ноября по январь. Гранулометрический состав взвешенных наносов и донных отложений тесно связан с режимом рек в течение года. Резкие изменения крупности наносов происходят в периоды прохождения паводков, когда активизируется русловая и склоновая эрозия. Русла под воздействием мощных потоков интенсивно деформируются, изменяются характер и содержание фракций. Крупным фракционным составом наносов характеризуются малые горные реки, протекающие в высокогорных зонах, бассейны которых в верхних частях лишены почв и лесного покрова. Воды рек района Сочи в среднем и нижнем течении отличаются обладанием мелких фракций наносов (менее 0,05 мм). С увеличением высоты водосбора количество крупных фракций увеличивается.

Во внутригодовом распределении в зимне-весенние паводки воды несут больше крупных фракций (более 0.05 мм в диаметре), чем в период летне-осенних паводков. Это объясняется тем, что летом и осенью хорошо развит растительный покров, препятствующий физическому выветриванию и транспортированию крупных материалов.

Отдельно следует остановиться на характеристике эрозионных процессов на побережье. Наблюдения за стоком наносов имеются только на реках Шахе, Сочи и Мзымте, что дает общее представление об эрозии лишь во втором подрайоне. Склоны гор этого подрайона отличаются большой крутизной; так, территория Сочинского национального парка по группам крутизны склонов распределяется следующим образом: на группу $0…10^{o}$ приходится 5.6% площади, $11…20^{o}$ – 21,6%, $21…35^{o}$ – 50,3%, 36^{o} и выше – 22,5% площади. Почвы здесь, в основном, бурые горно-лесные, широко варьирующие по мощности. Подавляющая часть территории (около 80%) покрыта лесной растительностью, поэтому, несмотря на явное преобладание в рельефе крутых и очень крутых склонов, а также частое выпадение осадков в виде продолжительных и интенсивных ливней, сток взвешенных наносов рек сравнительно невелик: среднегодовые нормы стока с 1 $км^2$ площади водосбора находятся в пределах 0,31…0,54 кг. При пересчете на высоту эродированного слоя почвы это составляет 0,3…0,5 мм, а в многолет-

нем цикле эти величины колеблются от 0,04 мм в маловодные годы до 2,2 мм – в многоводные. Следует отметить, что годы с наибольшим, средним и наименьшим стоком взвешенных наносов не всегда совпадают с многоводным, средним и маловодным годами.

Интенсивная склоновая эрозия наблюдается при уничтожении лесной растительности. В местах обнажения скальных пород при большой крутизне склонов интенсивно протекают процессы денудации. Продукты разрушения, не задерживаясь на склонах, обычно отлагаются у их подножий в виде осыпей, являющихся в последующем материалом для формирования речных наносов. Увеличивают твердый сток возникающие при определенных условиях оползневые явления. Очень часто оползни образуются в результате нерациональной хозяйственной деятельности человека.

Для внутригодового распределения стока характерно резкое увеличение мутности во время паводков, в особенности ливневого происхождения, а так как паводки на реках района бывают в любое время года, то резкое увеличение стока взвешенных наносов может наблюдаться также во все сезоны года. При этом на большие ливневые паводки приходится иногда до 40…50% всего объема годового стока наносов.

Среднегодовые величины мутностей не превышают 830 г/м^3, наибольшие из среднемесячных – 3200 г/м^3, а наименьшие достигают нулевого значения. Максимальные мутности (до 9300 г/м^3 и более) наблюдаются, как правило, при паводках в результате интенсивных ливней, выпадающих после длительных засушливых периодов. По механическому составу взвешенные наносы в основном состоят из илистых частиц: на долю илистых фракций приходится 74…93% веса взвешенных наносов при малых расходах и 61…78% – при наибольших расходах.

С увеличением расходов воды, т.е. с возрастанием скоростей течения, уменьшается процент содержания мелких частиц (глины, ила) до 42…77% и увеличивается содержание крупных фракций: песка – до 23…51% и гравия – до 0,03…7%. Песок и гравий в реках образуются при измельчении влекомых по дну наносов, а основная часть взвешенных наносов обусловлена выносом почвенных частиц с бассейна.

А.П.Казанкин (1972) проанализировал **сток взвешенных наносов рек** (твердого стока) и некоторых физико-географических факторов и выявил корреляционную зависимость между площадью ледников на водосборе и интенсивностью разрушения ими горных пород. Эта связь проявляется в различных бассейнах рек неодинаково и обусловливается литолого-петрографическим составом горных пород, степенью залесенности рыхлых грунтов и другими природными факторами. Он выделил 3 группы водосборных бассейнов.

Твердый сток рек отображает генетически различные виды разрушения поверхности бассейнов, но все же эрозионный эффект ледников и защитная функция леса проявляются достаточно четко. По мнению А.П.Казанкина, основным фактором в образовании взвешенных наносов является переработка аллювия, вынесенного из горных районов. Это явление можно считать типичным для рек, водосборы которых сложены гранитами и другими прочными породами, так как для истирания и превращения гранитной гальки в песчаные и илистые частицы необходим путь длиной 278 км, а для истирания зерен и уменьшения их веса в 2 раза необходим путь: для мергелистого известняка – 30 км, известняка – 50, доломита – 60, гранита – 100...150, кварца – 140, амфиболита – 200...250 км.

Отмеченные особенности формирования мутности потока не исключают возможности поступления в реки продуктов эрозии из равнинных районов при ливнях и снеготаянии, с распаханных сельскохозяйственных угодий, а также за счет размыва и подмыва коренных берегов, сложенных мягкими породами.

6.4.2 Химический состав речных вод Черноморского Побережья Кавказа.

Начиная с 1978 г. на семи пунктах государственной сети наблюдений и контроля за загрязнением природной среды ведется учет химического состава поверхностных вод района Сочи. До 1981 г. наблюдения проводились выборочно в отдельных пунктах (р. Сочи и р. Хоста), а с 1981 г. - во всех семи пунктах, четыре раза в год. Оценка состава воды

производится по физическому, газовому, ионному составу, общему уровню минерализации и биогенным компонентам. Кроме того, определяется содержание основных органических и неорганических загрязняющих веществ.

По суммарному содержанию ионов в воде реки сочинского региона отнесены к маломинерализованным и среднеминерализованным. Реки Мзымта, Сочи, Шахе -маломинерализованные, сумма ионов составляет менее 200 мг/л, реки Хоста, Псезуапсе, Аше - среднеминерализованные, сумма ионов - от 200 до 400 мг/л. Горные реки имеют повышенную скорость течения, небольшую глубину и завалуненное дно. В результате, воды хорошо перемешиваются, аэрируются и насыщаются кислородом. Концентрация двуокиси углерода невелика и не превышает 2 мг/л.

Содержание кислорода, углекислого газа, а также органического вещества в водах рек обусловливает окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия. Полученные данные свидетельствуют, что воды рек Черноморского побережья обогащены, кислородом практически в течение всего года.

По щелочно-кислотным условиям вода рек отнесена к нейтральной и слабощелочной, pH изменяется в пределах 7,6-8,15.

Режим растворенных в воде веществ для рек побережья определяется преобладанием в их питании доли того или иного вида стока. С увеличением грунтового питания минерализация воды растет, с увеличением доли дождевого питания она уменьшается. На крайнем северо-западе района минерализация воды составляет 622 мг/л, а к юго-востоку понижается до 84 мг/л. Несмотря на небольшую минерализацию, сток растворенных веществ по своему объему превышает половину объема твердого стока: для р.Шахе (у с. Солох-Аул) он составляет в год 140 тыс.т, для р.Сочи (у с. Пластунка) – 89, для р.Мзымта (у пос. Красная Поляна) – 84 тыс.т.

Общая минерализация речной воды зависит от величины водного стока, характера питания рек, горных пород и почв на водосборной площади, растительного покрова, степени антропогенного воздействия.

Низкая минерализация наблюдается в реках с повышенным водным стоком, водосборы которых сложены плотными кристаллическими или осадочными породами. В воде рек Черноморского побережья преобладают гидрокарбонатные ионы Ca^{2+} При увеличении антропогенной нагрузки в бассейне реки происходят трансформация ионного состава и увеличение минерализации воды. В устье реки Сочи в 1.5-5 раз увеличено содержание высокоподвижных ионов Na+, $S0_4$, C1-. Наибольшие антропогенные изменения происходят в реках с небольшим водным стоком, которого не хватает для разбавления загрязняющих веществ. В р. Хосте по сравнению с другими реками значительно повышено содержание ионов натрия, хлоридов и сульфатов, здесь же обнаружена максимальная для рек г. Сочи минерализация воды.

Резюмируя все сказанное выше, следует отметить, что все реки региона протекают по живописным ущельям и каньонам. Леса по берегам рек богаты экзотичными реликтовыми и эндемичными видами растений и животных. Таким образом, гидрологические рекреационные ресурсы выступают, как элемент единого рекреационного комплекса, все компоненты которого неразрывно связаны между собой.

Поверхностные воды используются на побережье для городского промышленного водоснабжения, гидроэнергетики, сельскохозяйственного производства и т.д. Исключительно важное значение они имеют для режима лечебных минеральных вод: наблюдается тесная связь режима минеральных вод с количеством инфильтрующихся пресных вод. Это справедливо как для Мацестинских сероводородных источников, так и для углекислых вод района Красной Поляны, содовых вод Лазаревского района и других месторождений минеральных вод. В этом случае водоохранная роль лесов Черноморского побережья приобретает особо важное значение.

6.5 Озера и водопады на реках ЧПК

Характерная особенность речных долин Черноморского побережья Кавказа - наличие красивых водопадов, представляющих собой уникальные рекреационные объекты. Водопады в основном размещены

в верховьях крупных рек и на их притоках. Образовались они в результате пересечения водными потоками различных по твёрдости пород и за счёт более интенсивной глубинной эрозии главного водотока (табл.36)..

Таблица 36- Список географических названий и объектов
в пределах юго-восточного подрайона ЧПК (15 озер и 20 водопадов)
(http://geo-sochi.narod.ru).

ОЗЁРА

Название озера.	**Название гор или хребта в месте расположения.**
1.Кардывач	Пик Кардывач
2.Круглое	Чугуш
3.Утаённые	Цындышха
4.Синеокое	Пик Кардывач
5.Морозовой, 6 Альбова, 7.Рейнгарда	Ацетукский хребет
8. Голубое	Агепста (Север)
9. Клумбочка	Аишхо хребет
10. Светикёль	Цахвоа
11. Малое, 12. Большое	Дзитаку
13. Хуко	Фишт (юг)
14. Зеркальное, 15. Хмелевского	Ачишхо

Водопады

Название водопада	Название реки
1.Безымянный	Псоу
2. Изумрудный	Мзымта
3. 4 Аибгинские	Притоки реки Мзымта
5. Ачипсе (Два брата)	Ачипсе, приток реки Мзымта
6. Глубокий яр (Пасть дракона)	Глубокий яр, приток реки Мзымта
7. Дзыхринский	Дзыхра, приток реки Мзымта
8. Агурские	Агура
9. Мацестинские	Мацеста

10. Змейковские	Змейка, приток реки Мацеста
11.Ацинские	Ац, приток реки Сочи
12. Ажекские	Ажек, приток реки Сочи
13. Ореховский	Безуменка, приток реки Сочи
14. Самшитовые	Дагомыс Восточный
15. Корыта	Дагомыс Западный
16. 33 водопада (Кичмайские)	Джегош, приток реки Шахе
17. Мафапэ	Мафапэ, приток реки Шахе
18. Чудо- красотка	Цусхвадж
19. Свирский	Свирская
20. Куапсе	Куапсе (Мамедова щель)
21. Пседах и Шапсуг	Аше
22. Серенада любви	Кумыштепе, приток реки Макопсе

К таким водопадам, имеющим важное рекреационное значение, относятся:

- Водопад "Ореховский" (в среднем течении р.Сочи, левый приток). Расположен в Центральном районе г.Сочи. Один из самых больших водопадов. Падение воды происходит с высоты 27,5 м. Водопад разбивается на несколько ветвящихся струй.

- Водопад "Безымянный" расположен в Адлерском районе г.Сочи на реке Безымянной в окрестности села Аибга. Самый высокий водопад во всём Краснодарском крае. Падение воды происходит с высоты 75 м. Состоит из трёх ступеней. Этот водопад - излюбленное место туристов.

- Агурские водопады расположены в 4 км от Чёрного моря в Хостинском районе г.Сочи. Это целый каскад водопадов на реке Агура в глубоком ущелье. Один из участков каскада зажат «Орлиными скалами». Через Агурские водопады есть выход на г.Ахун и к реке Мацеста. Здесь проложено много туристских троп. Это самое любимое и наиболее посещаемое место и местными жителями и туристами.

- На правом притоке реки Шахе расположено 33 водопада-

порога, высотой от 3,5 до 9 м., образующих целый каскад.

- 5 водопадов на реке Змейке (правый приток р.Мацеста), которые представляют также одно из живописнейших мест г.Сочи.

На реках и ручьях Сочинского национального парка насчитывается более 100 малых водопадов (рис.44)..

Рисунок 44 - Водопады на малых ручьях в горах Сочинского национального парка

Глава 7
РУСЛОВОЙ СТОК И ФАКТОРЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ ЕГО НА ТЕРРИТОРИИ ЧПК

7.1 Факторы формирования речного стока

Как показано выше, по принятой схеме речной сети исходным пунктом анализа формирования стока является поток I порядка. В работе Н.А.Ржаницына (1983) был выполнен анализ структуры речной сети и показан путь установления потоков 1-го порядка, а также последовательность установления порядков потоков речной сети. В процессе стекания атмосферных осадков по земной поверхности следует различать три характерные формы стока при достаточно сформировавшемся рельефе поверхности суши.

Первая форма — склоновый, или «плоскостной», сток. По мнению Н.А.Ржаницына, эта форма предполагает сток весенних и ливневых вод как бы некоторым сплошным слоем. В действительности это сток, осуществляющийся струйками, образующимися на поверхности земли настолько густо, что с известным допущением его можно принять за плоскостной. Однако эта форма стока наблюдается на относительно небольшой полосе, примыкающей непосредственно к водоразделу. На некотором удалении от водораздела эти струйки начинают группироваться в более крупные, которые могут уже достаточно интенсивно размывать поверхность склона. Размывая ее, они создают своеобразный вид поверхности склона с бороздами — это вторая форма поверхностного стока.

Группируясь далее во все более и более крупные струйки, усиливая свою эродирующую способность, они образуют мощный поток, который в процессе своей деятельности вырабатывает свою долину — первичное морфологическое образование; оно начинает далее определять направление стока по склону. Такой именно поток и принимается как поток I порядка. Этому условию отвечает по классификации, принятой в геоморфологии, «ложбина стока» — вытянутое углубление с поло-

гими склонами, покрытыми растительностью, и неясно выраженной бровкой.

Слияние двух потоков 1-го порядка создает долину II порядка. Так как эти потоки также существуют лишь в период обильного поступления осадков, их можно объединить в одну общую группу, назвав их «каналы стока» (нерусловые потоки) и соответственно каналы стока I порядка и каналы стока II порядка. Далее последовательно возникают пересыхающие ручьи, речки, малые реки, средние реки, большие реки, водные магистрали с соответствующими подразделениями на классы.

К числу основных гидрографических характеристик речной системы можно отнести: длину потоков, площадь водосбора, число потоков различных порядков в речной сети данного порядка. Имея эти характеристики, нетрудно получить и любые другие, например густоту речной сети. Н.А.Ржаницыным была изучена структура речной сети различных горных районов и предложены различные типы структур речных систем горных районов (рис.45). Рассмотренные реки горных районов протекают по территории с высокими перепадами высот и имеют различные источники питания.

Им было установлено, что длина потоков непрерывно возрастает с повышением порядка потока. Кроме того, определение числа потоков различных порядков, входящих в речную систему данного порядка, замыкает цепь основных гидрографических характеристик

Уравнение водного баланса “замкнутого” речного бассейна, т.е. бассейна, для которого границы подземного и поверхностного водосборов совпадают, имеет вид:

$$P - E - Q = \pm\Delta S \qquad (76)$$

При разделении общего стока Q на поверхностную и подземную составляющую, а суммарного испарения - также на свои составляющие (испарение с почвы, разные виды транспирации и т.д.), уравнение (76) приобретает вид:

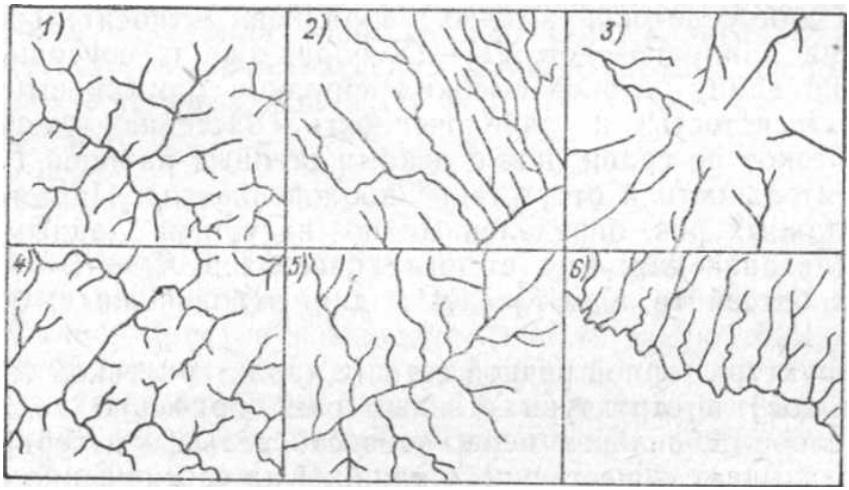


Рисунок 45 - Типы структур речной сети (1 — ветвистая, ***2*** — параллельная, ***3*** — радиальная, ***4*** — прямоугольная, 5 — перистая, ***6*** — линейная).

$$P_1 - P_2 + P_3 - Q_{so} - (K_1 * Q_{io} + K_2 * Q_{io}) - E_1 - E_2 - E_3 - \Delta M - \Delta G - \eta = 0 \quad (77)$$

Здесь: P_1 - осадки, проникающие сквозь кроны деревьев;

P_2 - часть осадков, задерживаемая кронами деревьев и расходуемая на испарение;

P_3 - осадки, стекающие по стволам деревьев;

Q_{so} - поверхностный сток с водосбора;

Q_{io} - часть подземного стока, дренируемая данным водотоком;

K_1 **и** K_2 - доли поверхностного и подземного стока, дренируемого данным водотоком и рекой высшего порядка с более глубоко врезанным руслом ($K_1+K_2=1,0$);

E_1 - испарение с почвы под пологом леса;

E_2 - транспирация травостоем;

E_3 - транспирация древесной растительностью;

ΔM - изменение запаса воды в слое аэрации почво-грунтов;

ΔG - изменение запасов подземных вод на водосборе;

η - невязка водного баланса, состоящая из суммы изменений запасов вод в слое грунтов зоны аэрации (ниже верхнего метрового слоя до зоны насыщения), просачивания воды за пределы зоны насыще-

ния и ошибки определения элементов водного баланса.

Таким образом, экспериментальное изучение водного баланса экспериментальных водосборов включает наблюдения за твердыми и жидкими осадками, склоновым стоком, режимом влажности почвы и всеми видами испарения.

К числу основных гидрографических характеристик речной системы можно отнести: **длину потоков, площадь водосбора, число потоков различных порядков** в речной сети данного порядка. Имея эти характеристики, нетрудно получить и любые другие, например густоту речной сети и пр. Подобно графику длин потоков, наблюдается возрастание линейных площадей водосбора с повышением порядка потоков. Обнаруживается также заметное влияние характера бассейна на значение линейной площади водосбора. Так, для лесистых бассейнов и заболоченных бассейнов линейная площадь водосбора больше, чем для бассейнов степных, лишенных древесной растительности.

Влияние неравномерности стокообразующих факторов на сток в замыкающем створе зависит от площади водосбора. Чем меньше водосбор, тем меньшую роль играют сглаживающие эффекты, и тем большее влияние на сток оказывают мелкомасштабные неоднородности. С увеличением размеров площади водосбора влияние мелкомасштабных неоднородностей снижается, однако может существенно повыситься роль крупномасштабных неоднородностей, связанных со значительными различиями гидрофизических характеристик почвы на больших участках водосбора, с изменчивостью водоподачи и др. В этих случаях эквивалентный однородный водосбор может оказаться неэффективным.

Следовательно, можно говорить о некоторых оптимальных размерах водосбора, для которых наиболее эффективно использование модели стока с сосредоточенными параметрами. Оптимальная площадь водосбора зависит от многих факторов и может сильно меняться для различных режимов и фаз водного режима, и устанавливаться в процессе реализации модели.

Наиболее распространено выделение сравнительно однородных частных бассейнов. Используют также другой подход к учету не-

равномерности, основанный на теоретико-вероятностном осреднении, который позволяет увеличивать размеры условно однородных бассейнов. При этом подходе необходимо использовать функции распределения плотности вероятностей входных данных и характеристик водосбора.

Все эти особенности свойственны положительно коррелированным последовательностям, образующим простую цепь Маркова. Из анализа автокорреляционных функций следует, что существенно значимы обычно лишь связи между стоком (осадками) непосредственно смежных лет. Внутрирядные связи в рядах годового стока проявляются в силу многих причин. Невысокая автокоррелированность (около 0,1) обнаружена в рядах годового слоя осадков. Относительно высокая автокоррелированность присуща подземной составляющей стока вследствие естественного регулирования почвогрунтами инфильтровавших осадков, степень которого зависит от водопроницаемости грунтов в бассейне, характера гидрографической сети и т.д. В целом влияние зарегулированности подземного стока на связанность между годовым стоком отдельных лет невелико.

Поверхностная составляющая стока характеризуется большей степенью коррелированности между годовыми значениями, чем в рядах годового слоя осадков (стока). Поскольку зависимость между стоком смежных лет обусловлена рядом причин, а индивидуальная оценка автокорреляции на конкретной реке мало достоверна, определение его представляет большие трудности. Выдвинута гипотеза, согласно которой одной из основных причин внутрирядной связанности годового стока является автокоррелированность в рядах годового слоя испарения.

7.2 Исследование гидравлических особенностей течения горных рек региона

Основные отличия динамики склонового (неруслового) стока от руслового потока являются особенности гидравлики течения воды в руслах рек, что связано в горных условиях также с формированием самих русел.

Вопрос об определении энергетических потерь в потоках жидкостей является одним из важнейших в гидротехнике как с точки зрения теоретической, так и практической. В практике гидротехнических расчетов открытых русел очень часто пользуются формулой французского гидравлика Шези, предложенной им для равномерного движения в руслах:

$$V = C \cdot \sqrt{Ri} \quad , \qquad (78)$$

где $C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$ называют скоростным коэффициентом или коэффициентом Шези.

Как величина коэффициента трения **λ** , так и величина коэффициента Шези, характеризуют энергетические потери в движущихся жидкостях. До середины прошлого века считали, что **C** (или **λ)** должны быть постоянными числами. Но практика опровергла это предположение и потребовала более глубокой проработки вопроса.

Ввиду сложности характера взаимодействия движущегося потока с вмещающим его в себя руслом или другим водоводом гидравлические сопротивления большей частью изучались с помощью экспериментов. Теоретические разработки в этой области гидравлики сравнительно немногочисленны и в большинстве своем являются слишком грубыми схемами тех процессов, которые происходят в потоках жидкости. Сказанное относится в особенности к рекам в естественном состоянии.

В настоящем исследовании сделан обзор методов и формул, применяющихся при определении гидравлических сопротивлений в водотоках, и приведены некоторые данные о коэффициентах сопротивления для нескольких горных рек Черноморского побережья Кавказа.

7.2.1 Гидравлические сопротивления при ламинарном и турбулентном режимах движения воды

Как известно, движение жидкостей может быть различным в зависимости от условий, в которых оно происходит, а именно: в ламинарном режиме и турбулентном. Оба эти режима течения взаимосвязаны, могут переходить друг в друга, и являют собой диалектический закон перехода количества в качество: наблюдающееся при малых скоростях ламинарное движение с увеличением скорости течения сменяется турбулентным. Закон изменения сопротивлений, а следовательно, и коэффициент С, связаны с родом движения.

При ламинарном режиме движения гидродинамические сопротивления в потоке образуются под действием сил внутреннего трения, или вязкости жидкости. Согласно закону Ньютона о вязкости, внутри движущейся жидкости возникают касательные напряжения, величина которых в каждой точке потока пропорциональна значению пространственной производной скорости в этой точке: $\tau = \mu \cdot \frac{du}{dt}$ (79)

При движении жидкости некоторая часть работы внешних сил непременно переходит в тепловую энергию - происходит диссипация энергии. Делением диссипации энергии на скорость получаем величину, имеющую размерность силы, и которую называют **гидродинамическим сопротивлением**. Величина гидродинамического сопротивления в самом общем случае должна зависеть от размеров и формы потока, от плотности и вязкости жидкости и от поля скоростей в сечении. Из указанных зависимостей три, а именно: скорость **v**, линейное измерение потока ***l*** и коэффициент вязкости ***v***, объединяются безразмерной величиной - числом Рейнольдса ***Re***:

$$\mathrm{Re} = \frac{v \cdot l}{\nu} \qquad (80)$$

Установлено, что гидродинамические сопротивления при ламинарном режиме прямо пропорциональны первой степени скорости течения, т.е. зависимость будет прямолинейного вида. Для турбулентного режима гидродинамические сопротивления будут пропорциональны квадрату скорости движения, и выражением квадратичного закона со-

противления для русловых потоков является общеизвестная формула Шези (Ахутин, 1931).

Процесс непрерывного перемешивания в турбулентном потоке, естественно, вызывает появление дополнительного трения между отдельными частицами, которое оказывается во много десятков раз больше, чем трение при ламинарном режиме.

Задача исследования сопротивлений и поля скоростей в турбулентных потоках является гораздо более сложной, чем для ламинарных потоков. Это объясняется тем многообразием условий, при которых течение жидкостей происходит при турбулентном режиме, в то время, как ламинарное течение может наблюдаться при очень ограниченных условиях.

Попытки теоретических исследований закономерностей турбулентного потока, с целью получения теоретических формул для гидравлических сопротивлений, делались неоднократно. Одной из таких попыток является теория Прандтля-Кармана, по которой суммарное напряжение трения в турбулентном потоке будет иметь вид:

$$\tau = \mu\left(\frac{du}{dy}\right) + \rho l^2\left(\frac{du}{dy}\right)^2 \qquad (81)$$

При турбулентном режиме второй член в правой части намного больше первого. Для ламинарного течения (при малых скоростях) будет преобладать левый член уравнения.

Строгое теоретическое определение гидродинамических потерь в трубах является одним из тех немногих случаев, когда интегрирование дифференциальных уравнений гидродинамики принципиально возможно и технически осуществимо.

Такой теоретической формулой, определяющей потери напора при ламинарном режиме в трубах, является формула Пуазейля:

$$i = \frac{32\nu \cdot v}{gd^2} \qquad (82)$$

которая показывает, что потеря напора при ламинарном режиме пропорциональна первой степени средней скорости, зависит от рода жид-

кости ***(v)***, обратно пропорциональна площади сечения трубы и не зависит от шероховатости стенок трубы.

Для турбулентного режима движения в шероховатых трубах Прандтль предложил следующую формулу:

$$\lambda = \frac{1}{(2\lg\frac{r_0}{\Delta} + A)^2}\ , \qquad (83)$$

где: **λ** - коэффициент трения, ***A*** - параметр, характеризующий форму шероховатости, который по опытам Никурадзе для равнозернистой шероховатости равен A=1,74, $\mathbf{r_0}$- радиус трубы, **Δ** - величина выступов отдельных шероховатостей - абсолютная шероховатость.

Хотя до недавнего времени формула **(83)** считалась с теоретической стороны лучшей, но экспериментальная проверка её показала, что оценка шероховатости только по высоте выступов недостаточна, а необходимо учитывать также характер расположения выступов.

Для изучения зависимости коэффициента трения **λ** в трубах и лотках от определяющих его характеристик было проделано много экспериментальных работ, из которых наиболее значительными были опыты Никурадзе в 1933 г., опыты А.П. Зегжда в 1938 г. и опыты Ф.А.Шевелева (1953г.).

Никурадзе исследовал влияние шероховатости на гидравлические сопротивления при конечных значениях числа Рейнольдса для круглых труб. Он применил искусственную шероховатость из специально подобранных зерен песка, наклеенных на внутреннюю поверхность трубы, при этом отношение среднего размера песчинок *v* радиусу трубы изменялось от 1/507 до 1/15, а число ***Re*** , отнесенное к диаметру трубы, доходило до ***Re*** =10^6. Построенный Никурадзе график зависимости сопротивлений от числа ***Re*** и относительной шероховатости **Δ/r** позволил сделать следующие выводы:

1. При малых значениях числа ***Re*** (менее 2300), когда весь поток является ламинарным, или в турбулентном потоке ламинарный подслой имеет толщину, значительно превосходящую размеры выступов шероховатости, и шероховатость эта не оказывает влияния на сопротивление, **λ** зависит только от числа ***Re*** и изображается прямой линией,

имеющей уравнение: $$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}} \qquad (84)$$

2. При средних значениях ***Re*** (3,3< lg ***Re*** <3,6) выступы шероховатости несколько меньше толщины ламинарного подслоя, шероховатость уже оказывает влияние на сопротивление, зависящее в основном от числа ***Re.*** Эта область характеризуется формулами вида: ***λ=f*** **(*Re,*** $\frac{\Delta}{r}$ **).**

3. При больших значениях ***Re*** выступы шероховатости уже полностью выходят за пределы ламинарного слоя, и сопротивление определяется лишь степенью шероховатости стенок потока. В этой области - области шероховатых труб -сопротивление определяется формулами вида ***λ=f*** **(** $\frac{\Delta}{r}$ **).** Можно также отметить, что чем больше шероховатость, тем раньше наступает независимость **λ** от ***Re*** **,** т.е. вступает в действие квадратичный закон сопротивления.

В 1938 г. А.П.Зегжда опубликовал результаты проведениях им в открытом безнапорном потоке прямоугольного сечения опытов. В опытах Зегжда применялась также равнозернистая шероховатость. На полученном им графике видны все режимы движения жидкостей в каналах, а именно: ламинарное движение, при гладких стенках, при вполне шероховатых стенках и область перехода от гладких стенок к шероховатым.

Здесь очень важно отметить, что сходство графиков для круглой трубы (Никурадзе) и для прямоугольного лотка (Зегжда) имеется как с качественной стороны, так и количественно. Так, Никурадзе для турбулентного режима предлагает формулу:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 4\lg\frac{R}{\Delta} + 4{,}68 \qquad (85)$$

а Зегжда для прямоугольного лотка получил:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 4\lg\frac{R}{\Delta} + 4{,}25 \qquad (86)$$

причем незначительное расхождение в формулах (85) и (86) сам Зег-

жда относит лишь за счет неточности своих опытов. Таким образом, опытами Зегжда доказана, возможность использования для открытых русел формул теории турбулентности типа, примененного для труб.

М.А.Великанов (1949) делает вывод, что: «такое совпадение даёт нам, во-первых, уверенность в правильности нашего общего подхода к вопросу сопротивления, подхода теоретически не вполне строгого, и потому нуждающегося в экспериментальном подтверждении, и во-вторых, совпадение полученных формул до числовых параметров позволяет нам пользоваться ими и для потоков иных поперечных сечений».

Но при расчётах сопротивлений все напорные и безнапорные русловые потоки любой формы сечения обычно заменяют плоским открытым потоком с глубиной, равной гидравлическому радиусу действительного сечения, с шириной его, равной смоченному периметру, и стенками, не вызывающими торможения, а эта замена, как отмечает В.Н.Гончаров (1954), не всегда является допустимой. Более того, Гончаров указывает, что: «множитель С, обычно именуемый коэффициентом Шези, или скоростным коэффициентом, как это доказано выше, является и должен являться непосредственной функцией именно формы сечения. Поэтому его целесообразнее было бы именовать параметром формы, выражаемым через отношение к высоте выступов шероховатости характерного линейного размера сечения, различного для разных форм сечения».[1954.]

В настоящее время установлено, что величина **λ** и **C** в самом общем случае зависят от диаметра (или размеров русла), скорости, абсолютной шероховатости и характера самой шероховатости, т.е.:

$$\lambda = f(d, v, \rho, \mu, \Delta, A), \qquad (87)$$

где **A** - параметр, учитывающий характер шероховатости.

Помимо приведенных выше формул, для расчета сопротивлений в трубопроводах существует ряд других формул (А.Д.Альтшуль, Г.А.Адамов, Ф.А.Шевелев и др.), но мы их не приводим, так как основной целью настоящего исследования является обзор формул для определения сопротивлений в открытых руслах естественных водотоков.

7.2.2 Формулы для определения коэффициента С в формуле Шези и их сопоставление

В естественных русловых потоках сопротивления возникают благодаря воздействию на потоки различного рода факторов, и роль каждого из этих факторов не одинакова. В.Н.Гончаров (1954) классифицирует все виды сопротивлений в руслах на основные и дополнительные сопротивления. Основными сопротивлениями он считает «путевые сопротивления потоков, механизм турбулизации которых осуществляется возмущениями, порождаемыми руслом и формирующими в процессе прохождения ими толщи потока поле скоростей и режим обмена» (Гончаров, 1954), а дополнительными - все факторы, увеличивающие сопротивления сверх основных. К дополнительным сопротивлениям относятся те сопротивления, которые вызываются массивными выступами и углублениями, растительностью в русле, изгибами русла, косоструйностью и водоворотными зонами потока. Практическое значение дополнительных сопротивлений обусловливается размерами их влияния на общий уровень сопротивлений.

Все факторы, вызывающие основные и дополнительные сопротивления, характеризуются бесконечным разнообразием их форм, размеров и видов. В силу этого почти все формулы для определения коэффициента **С** в формуле Шези являются эмпирическими и зачастую не удовлетворяют тем требованиям, которые предъявляет к ним практика.

В нашей стране систематизации гидрометрических материалов о шероховатости естественных русел начали уделять внимание в достаточной мере лишь в связи с потребностями широкого дорожного и гидротехнического строительства. Первая систематизация эмпирических данных о шероховатости была произведена проф. К.Ф.Срибным, причем по данным Срибного шероховатости в естественных руслах были значительно больше, чем по данным опытов в каналах и трубах. Основной багаж экспериментальных данных гидравлики был накоплен изучением потоков, дополнительные сопротивления в режиме которых

заранее сводились к возможному минимуму для получения связи средней скорости именно с основными сопротивлениями. Анализ вопроса о дополнительных сопротивлениях естественных русловых потоков выясняет механизм возникновения высоких шероховатостей, встречаемых в практике при обработке гидрометрических данных.

Все формулы для определения коэффициента **C**, предложенные различными авторами на основе опытных данных, можно разделить на две группы:

1. Одночленные степенные формулы.
2. Многочленные формулы.

Вследствие того, что скоростной коэффициент **C** имеет размерность квадратного корня из ускорения ($L^{1/2}T^{-1}$), при вычислении его следует учитывать, что формулы для **C** составлены для метровых мер.

К первой группе относятся следующие наиболее распространенные формулы:

а) Формула Маннинга (1890 г.): $$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \qquad (88)$$

б) Формула Форхгеймера (1923 г.): $$C = \frac{1}{n} R^{1/5} \qquad (89)$$

в) Формула Н.Н. Павловского: $$C = \frac{1}{n} R^{y} \qquad (90)$$

В этих формулах : **n** - коэффициент шероховатости, зависящий от состояния поверхности стенок и дна русла; ***R*** - гидравлический радиус сечения.

Наиболее точной формулой из указанных является формула (90), предложенная Н.Н.Павловским в 1925 г. и которая явилась обобщением ранее существовавших показательных формул, поскольку теоретически было доказано, что показатель степени в формуле для **C** не может быть постоянным, а должен зависеть от ***n.*** Для определения показателя степени ***y*** по Павловскому им предложена формула:

$$\boldsymbol{y = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{R}\,(\sqrt{n} - 0{,}10)} \qquad (91)$$

Так как при выводе формулы (91) Павловский использовал гид-

рометрические данные по каналам при значениях гидравлического радиуса от 0,1 до 3,0 м, то эта формула применима для открытых русел при значениях 0,1<**R**<3,0 м. Но, как указывает сам автор формулы (91), *«..* .в этом не следует видеть какого-либо специфического ограничения её**,** так как данные названной группы опытов не укладываются также и в формулы Маннинга и Форхгеймера. Последние формулы применяются иногда и при R>3,0 м, но следует признать, что это делается, собственно, в порядке их экстраполяции за пределы достаточного экспериментального материала» (Павловский, 1932).

Для приближенных расчётов Павловский предлагает упрощенные формулы:

$$\boldsymbol{Y = 1{,}5}\sqrt{n} \qquad \text{при} \quad \mathbf{0{,}1 < R <} 1{,}0 \text{ м.} \qquad (92)$$

$$\boldsymbol{Y = 1{,}3}\sqrt{n} \qquad \text{при} \quad 1{,}0 \mathbf{< R <} 3{,}0 \text{ м.}$$

В целях упрощения пользования формулой (92) составлены графики и таблицы ***y = f (R,n))*** и ***C =f (R,n)*** **,** которые можно найти в любом справочнике по гидравлике.

Из многочленных формул наиболее распространёнными являются:

а) Формула Гангилье-Куттера (1869 г.):

$$C = \frac{(23 + \frac{0{,}00155}{i}) + \frac{1}{n}}{1 + (23 + \frac{0{,}00155}{i}) \cdot \frac{n}{\sqrt{n}}} \qquad (93)$$

Здесь значение коэффициента шероховатости **n -** то же, что и в формулах (88), (89), (90).

При более значительных уклонах ***i*** ≥0,0005 влияние ***i*** в формуле незначительно, и формула (93) несколько сокращается:

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n}}{1 + \frac{23n}{\sqrt{R}}} \qquad (94)$$

Для пользования формулой составлены достаточно подробные таблицы градаций коэффициента шероховатости ***n*** в зависимости от состояния русел..

Формула Гангилье-Куттера даёт достаточно хорошие результаты для естественных русел и каналов при ***R*** **>** 3,5м.

б) Формула Базена (1897г.):

$$C = \frac{87}{1 + \frac{n_б}{\sqrt{R}}} \qquad (95)$$

где: $n_б$- коэффициент шероховатости по шкале Базена. Для формулы (95) также была разработана шкала $n_б$, но в настоящее время формула эта почти не применяется.

в) Формула А.П.Зегжда, выведенная им из формулы (95)**:**

$$C = \frac{\sqrt{2g}}{4{,}25 + 4\lg\frac{R}{\Delta}} \qquad (96)$$

где **Δ** - значение абсолютной шероховатости (высоты выступов).

Формула (96), как было сказано выше, была получена по экспериментам в лотке. Аналогичную зависимость В.Н.Кузнецов получил теоретическим путем.

г) Формула И.И.Агроскина (1949 г.):

C = 17,72 (k + lgR) , (97)

которая принципиально отличается от предложенных ранее формул тем, что она построена на рациональной основе, а именно - на использовании зависимости коэффициента трения **λ** для открытого турбулентного потока от отношения гидравлического радиуса к характерному размеру выступов шероховатости **Δ** ***:***

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2\lg\frac{2AR}{\Delta}. \qquad \textbf{(98)}$$

Соотношение между ***k*** в формуле (97) и коэффициентом шероховатости ***n*** в формулах (96), (97) и (98) равно: ***k*** = $\frac{1}{17{,}72n} = 0{,}05643\frac{1}{n}$.

Способ выражения ***k*** через ***n***, примененный Агроскиным, нужно объяснять лишь тем, что к настоящему времени пока ещё отсутствуют данные о фактических величинах абсолютной шероховатости **Δ**, соответствующих тем или иным состоянием русла.

д) Формулы М.А. Мосткова (1949 г.):

Для движения в области шероховатых русел при развитой турбулентности: $C = 22 \lg \frac{R}{\Delta} + 9{,}5\frac{\Delta}{R} + 1{,}5$ (99)

Для движения в области гладких русел, также при развитой турбулентности: $C = 22 \lg \frac{\mathrm{Re}}{\Delta} - 13{,}4$ (100)

Мостков (1949) дает таблицу значений высоты влияния выступов шероховатости **Δ**, причём последняя по смыслу вывода представляет не геометрический размер выступа, но учитывает геометрические и гидравлические характеристики не только отдельных выступов, но и наличие на дне вымоин, неровностей и т.д.

Все указанные выше формулы рассчитаны для вычисления средней скорости потока через коэффициент шероховатости. Некоторыми авторами был предложен ряд формул для определения средней скорости без применения понятия коэффициента шероховатости (Тейберт, Кристен, Германек, Хессле, Матаневич, Грегер, Виннель, Тильзен и др.).

Основными определяющими скорости параметрами в большинстве таких формул приняты: средняя глубина, уклон, гидравлический радиус и ширина реки. Отличительными особенностями формул является то, что каждая из них распространяется лишь на отдельные районы, реки или даже на участки рек.

Например, формула Тильзена (1933) для р. Наровы имеет вид:

$$V = 2{,}7\, R^{1{,}44}\, I^{0{,}326} \quad (101)$$

Подобные же формулы были предложены М.А.Мостковым в 1938 г. для горных рек Закавказья.

Как видно из вышеизложенного, для вычисления скоростного коэффициента **C** существует очень много формул, поэтому при возникновении необходимости определения **C** сразу же встает вопрос, по какой формуле нужно вести его расчет. Как отмечает Б.В.Поляков, «удачность расчёта **C** зависит не только от выбора значения коэффициента (шероховатости), но и от выбора формулы, по которой производится самый расчёт. При этом более совершенной надо считать такую фор-

мулу, которая даёт значения коэффициентов шероховатости более устойчивые и почти неизменяющиеся при увеличении наполнения русла и поймы. Это условие очень важно при расчёте максимальных расходов и кривых подпора, так как оно облегчает экстраполяцию значений коэффициента шероховатости для высоких горизонтов и увеличивает точность расчётов». (Поляков,1936).

Наиболее часто в настоящее время для определения скоростного коэффициента **C** используется либо формула Н.Н.Павловского, либо формула Маннинга, являющаяся частным случаем формулы Павловского (при $n = 1/6 = 0{,}167$). Формула Маннинга широко применяемся за рубежом (особенно в США, Англии, Индии), сторонники её есть и у нас. Например, этой формулой в своих работах предпочитает пользоваться В.М.Маккавеев, который считает её наиболее простой и удачной. Из многочленных формул наилучшей для открытого русла является формула Агроскина. Её же настоятельно рекомендует Н.Н.Федоров. (1956).

Сравнение формул на графике в логарифмическом масштабе показало, что для одних и тех же величин коэффициента шероховатости значение **C** по формулам Маннинга и Гангилье-Куттера для $R < 1{,}0$ м получаются в сравнении с формулой Павловского заниженными для малых коэффициентов шероховатостей и завышенными - для $n > 0{,}020$. Для $R > 1{,}0$ м. расположение кривых, характеризующих каждую формулу, обратное, чем для $R < 1{,}0$; при $R = 1{,}0$ м кривые пересекаются в одной точке.

Формула Агроскина для небольших водотоков даёт заниженные величины **C** в сравнении с формулой Павловского.

Нанесенные на графике эмпирические точки $(C, h_{ср})$, полученные по гидрометрическим данным поста р.Сочи-с.Пластунка (за период 1947-1960 гг.) дают кривую связи $C=f(h_{ср})$, совершенно отличную от кривых взятых формул. Зависимость $C=f(h_{ср})$ имеет вид параболы, пересекающей семейство кривых $C= f(R, n)$; поэтому можно сказать, что входящие в формулы для **C** коэффициенты, характеризующие шероховатость русла, для естественных русел изменяются весьма зна-

чительно, какую бы формулу для расчетов С мы ни взяли. Весь вопрос упирается в необходимость выбора наиболее подходящего для данной формулы коэффициента шероховатости, чтобы получить наиболее правильной значение скоростного коэффициента.

7.2.3 Динамика коэффициента шероховатости по данным гидрометрических измерений на горных реках Сочинского Причерноморья

При определении средних скоростей в сечении для естественных русел по формулам Шези и Павловского в настоящее время коэффициент шероховатости назначают или по таблице М.Ф.Срибного, или же по данным натурных измерений.

В таблице М.Ф.Срибного приведена достаточно подробная характеристика видов русел и соответствующие каждому виду коэффициенты шероховатости, однако таблица эта является очень грубой схемой и не учитывает динамики коэффициента шероховатости. Как отмечал ещё в 1936 г. Б.В.Поляков, «значения коэффициентов шероховатости не могут умещаться в каких-либо тесных рамках таблиц. Для данного состояния шероховатости необходимо давать достаточно широкие пределы. Эти пределы также не являются строгими, неподвижными. Поэтому пользование таблицами для нахождения **С** влечёт за собой частые ошибки. Для уменьшения их при ответственных проектах необходимы исследования в натуре». (Поляков,1936)

Для того, чтобы назначать коэффициент шероховатости (КШ) на основании опытных данных, необходимо знать, как изменяется коэффициент шероховатости, его динамику. Проф. А.Н.Ахутин в 1931 г. писал: «Необходимо также более внимательно исследовать саму природу того фактора, который мы называем КШ. Истинное значение КШ еще не вполне выяснено. Изучение имеющегося материала позволяет утверждать, что КШ меняется с глубиной (с гидравлическим радиусом), с видом (степенью шероховатости) русла, но и с уклоном, с изменением живого сечения русла и потока в плане». [Ахутин,1931]

Таким образом, картина динамики КШ оказывается гораздо бо-

лее сложной, чем кажется на первый взгляд.

С целью выяснения характера изменения коэффициента шероховатости в условиях естественных русел горных рек нами была произведена обработка гидрометрических данных по 10 створам, расположенным на горных реках Черноморского Побережья Кавказа. Обработка состояла в вычислении по измерениям расходов воды скоростных коэффициентов (C= $\frac{v_{\text{ñð}}}{\sqrt{Ri}}$) и коэффициентов шероховатости (по Павловскому: ***n=***$\frac{R^y}{C}$***,*** а затем - в построении зависимостей ***n=f(v$_{ср}$)*** **и** ***n=f(h$_{ср.}$·i).*** Вместо величин гидравлического радиуса при этом брались средние глубины потока, полученные делением площади сечения на ширину, поскольку от такой замены вносимая в расчеты ошибка не превышала 1-3%.

При определении коэффициента шероховатости по формуле Павловского значение показателя степени ***y*** бралось по формуле (100).

В целях облегчения весьма трудоемких подсчетов при вычислении КШ был построен график зависимости ***n = f (C=***$\frac{R^y}{n}$***, R)*** (по вертикальной оси графика **– *n,*** по горизонтальной - **C**, каждая кривая на графике - для определенного ***R***, который менялся от 0,05 до 5 м), а затем по графику была составлена расчётная таблица. Таким образом, коэффициент шероховатости определялся по расчётной таблице по вычисленному ***C=***$\frac{R^y}{n}$***,*** и ***h$_{ср.}$***

Нами было обработано **1541 измерение расхода воды гидрометрической вертушкой** на нескольких гидрометрических постах, входивших в наблюдательную сеть Сочинской гилрометстанции в период 1956-1962 гг. Результаты вычислений далее представлены графически в виде зависимостей ***n=f(v$_{ср}$)*** по каждому посту отдельно.

7.2.4 Гидрометрический пост р.Псезуапсе-с.Татьяновка

Гидрометрический створ расположен на прямолинейном участке, русло сложено галечниковыми отложениями, поперечный профиль имеет плавное параболическое очертание. Уклоны измерялись на участке: верхний уклонный пост, расположенный в 80,7 м от основного водпоста, - основной водпост, который совмещен с гидроствором.

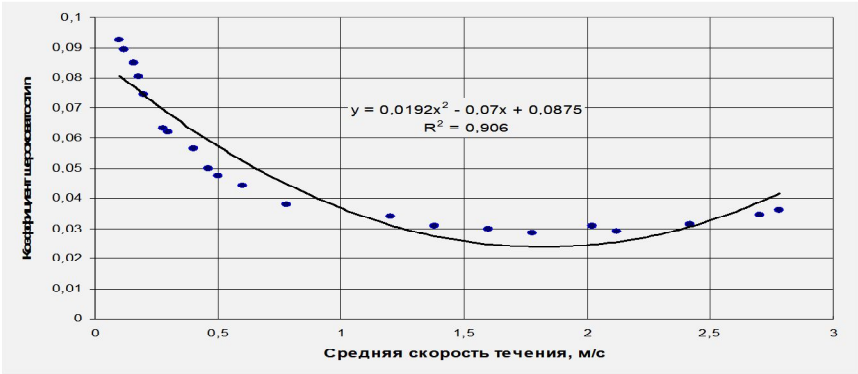


Рисунок 45 -Зависимость коэффициента шероховатости от средней скорости потока. Р.Псезуапсе – с. Татьяновка, 1959-1960 гг.

Коэффициент шероховатости вычислен по 51 измерению расхода воды (1959 - l960 гг.), охватывающих амплитуды: $v_{ср}$ =0,11 —2,78 м/сек, $h_{ср}$=0,30 —1,49 м, Q =1,22 - 130 м^3/с. Уклоны водной поверхности изменялись от i=4,3‰ при высоких уровнях до i=1,2‰ - при низких уровнях.

Как видно из построенного графика $n=f(v_{ср})$ (см.Рис.45), коэффициент шероховатости (КШ) уменьшался от 0,092 при малых глубинах и скоростях до 0,026 при $v_{ср}$=1,6 - 2,0 м/сек, а затем – с увеличением скоростей - несколько повышался (до n =0,026). Отклонения точек от усредняющей кривой не превышают ±13%.

7.2.5 Гидрометрический пост р. Шахе -с. Солох-Аул

Гидроствор расположен в среднем течении реки, пойма на участке поста отсутствует, и галечниковое русло располагается между крутыми склонами долины, ширина которой по дну составляет 60 м. Деформация на участке гидроствора весьма значительная, русло блуж-

дающее. Вследствие влияния движущихся перекатов часто наблюдается косоструйность в гидростворе. Уклоны измеряются по НУП и ВУП, расстояние между которыми 54 м.

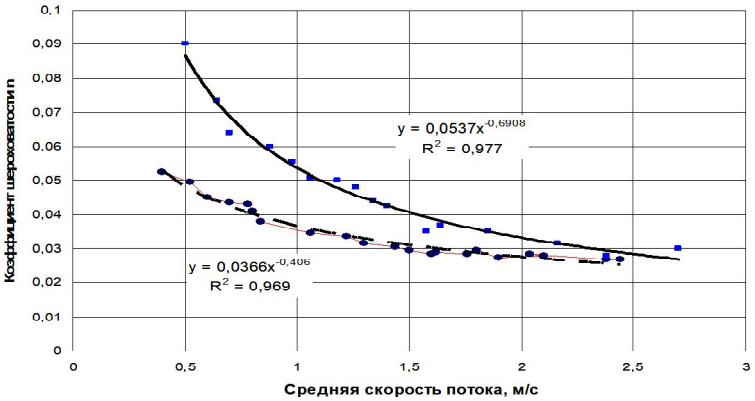


Рисунок 46 - Зависимость коэффициента шероховатости от средней скорости потока. Р.Шахе – с. Солох-Аул, 1956-1960 гг.

В результате обработки расходов воды, измеренных в период 1956 - 1960 гг., получено 268 значений КШ, которые соответствуют амплитудам $v_{ср}$ =0,37—2,77 м/сек, $h_{ср}$ =0,22-1,75 м, Q =3,37 —155 м^3/с, i=0,19—17‰.

Как видно на графике $n=f(v_{ср})$ (см.Рис.46), КШ изменяется от 0,019 до 0,090, график этот характеризуется весьма большим разбросом точек, достигающим 50% величины n, при этом достаточно четко вырисовываются две кривых, соответствующих двум различным положениям русла реки в плане. В правой части графика при больших глубинах и скоростях разброс точек меньше, и кривые сближаются.

7.2.6 Гидрометрический пост р.Псий-с.Тух-Аул

Гидроствор расположен на прямолинейном участке, русло сложено гравелистыми отложениями со значительной долей булыжников и валунов, в паводки деформируется. Уклоны измеряются по уклонным постам, расстояние между которыми 60 м.

КШ вычислены по 253 измерениям расхода воды (за период 1956 — I960 гг.), освещающим амплитуды колебаний: $v_{ср}$= 0,11-2,48 м/с,

$h_{ср}$ =0,12 —0,80 м, Q=0,055 -22,8 м^3/с, i =14— 22 ‰ . Амплитуда изменений КШ n =0,122 - 0,033. Точки на графике $n=f(v_{ср})$ (см. Рис.47) имеют большой разброс с максимальным отклонением от усредняющей их кривой до ±27%.

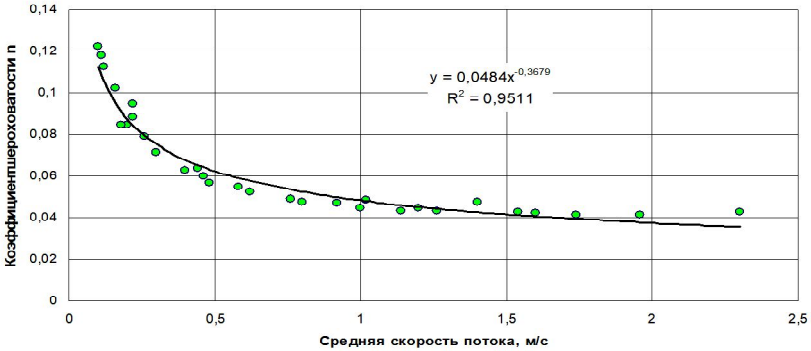


Рисунок 47 - Зависимость коэффициента шероховатости от средней скорости потока. р.Псий – с. Тух-Аул

7.2.7 Гидрометрический пост р.Сочи - с.Пластунка

Гидроствор расположен на прямолинейном участке, русло правильной формы, деформации его сравнительно невелики. Уклоны измеряются по уклонным постам, расстояние между которыми 73 м.

В результате обработки 265 расходов воды, измеренных в период 1947 - l960 гг. и освещающих амплитуду колебаний $v_{ср}$ =0,22 - 2,84 м/с, $h_{ср}$ =0,24 — 2,02 м, Q = 1,44-301 м^3/с, i =1,9-7,2 ‰, получены величины коэффициента шероховатости в пределах n =0,068 — 0,031.

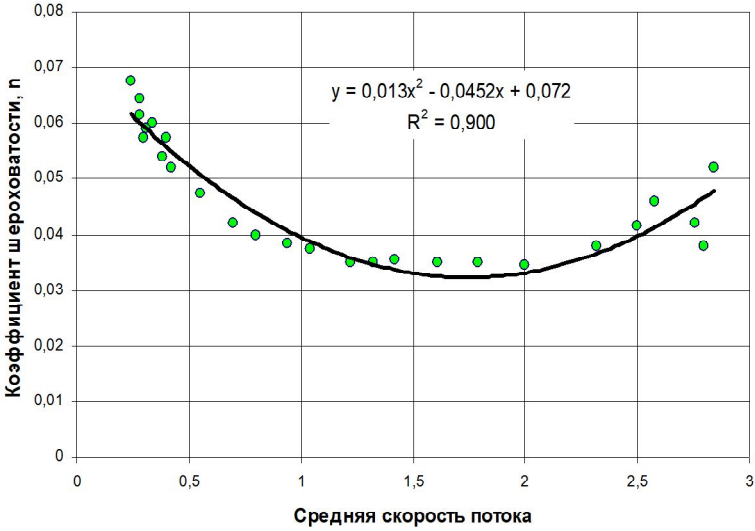


Рисунок 48 - Зависимость коэффициента шероховатости от средней скорости потока. р.Сочи – с. Пластунка

Точки на графике $n=f(v_{ср})$ (см. Рис.48) располагаются сравнительно неширокой полосой, укладываясь в подавляющем большинстве своем в 10%-ную полосу рассеяния и очень чётко выявляя параболический вид кривой $n=f(v_{ср})$ с минимумом при $v_{ср}$ =l,4 -1,8 м/сек. График $n=f(h_{ср})$ даёт примерно такой же вид кривой и с такими же отклонениями точек.

Гидрометрический пост р. Сочи - г.Сочи

Гидроствор №l располагался на приустьевом участке реки, подверженном периодическим подпорам от приустьевого бара и уровня моря. Река на этом участке имеет бетонную опояску берегов и дно в естественном состоянии. Вычисленные 115 значений n дают на графике очень большой разброс точек (n , $v_{ср}$).

Для гидроствора №2, расположенного вне зоны подпора и имеющего более устойчивый профиль, точки (n, $v_{ср}$) ложатся гораздо более тесной группой. КШ здесь имеют небольшую амплитуду измене-

ний (0,039 - 0,019) и устойчивые низкие величины при средних глубинах (***п*** =0,022).

7.2.8 Гидрометрический пост р. Мзымта - р. п. Красная Поляна

Русло на участке гидроствора имеет слабый изгиб, сложено галечником и валунами. Уклоны измеряются по уклонным постам, расположенным на расстоянии 138 м.

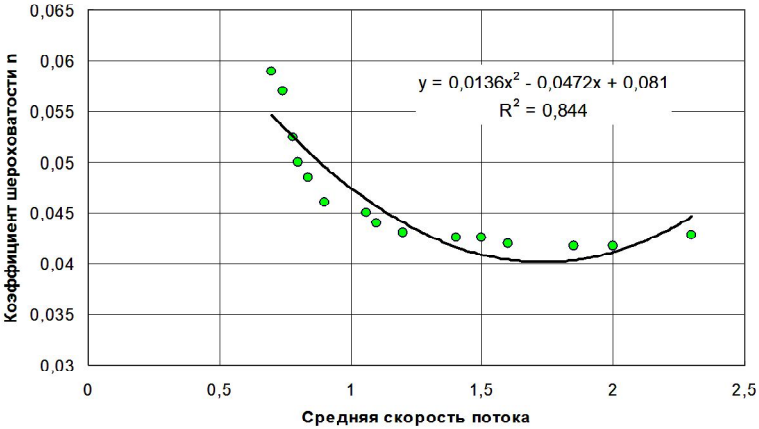


Рисунок 49- Зависимость коэффициента шероховатости от средней скорости потока. р.Мзымта – р. п. Красная Поляна

За период наблюдений 1948,1956-1960 гг. по измерениям расхода воды было вычислено 220 значений КШ, которые соответствуют изменениям $v_{ср}$ =0,67—3,17 м/с, $h_{ср}$=0,29—1,32м, Q =7,58 -214 м^3/с и i =5,1 - 9,5 ‰. При этом значения КШ расположились в пределах $п$ =0,059— 0,036. Точки ($п$, $v_{ср}$) на графике (см. Рис.49) дают сравнительно небольшое рассеяние - до ±15-10% от средней кривой. Зависимость $n=f(h_{ср}\cdot i)$ имеет такой же вид , как и $n=f(h_{ср})$.

7.2.9 Гидрометрический пост р.Мзымта-пос.Кепш

Гидроствор расположен на участке, где река прорезает хребет

Ах-Цу, поэтому Мзымта в этом месте имеет большие уклоны, скорости и глубины при сравнительно небольшой глубине потока. Русло изобилует большими валунами, много осыпей. Верхний уклонный пост расположен в 80 м выше основного водпоста, последний служит нижним уклонным постом.

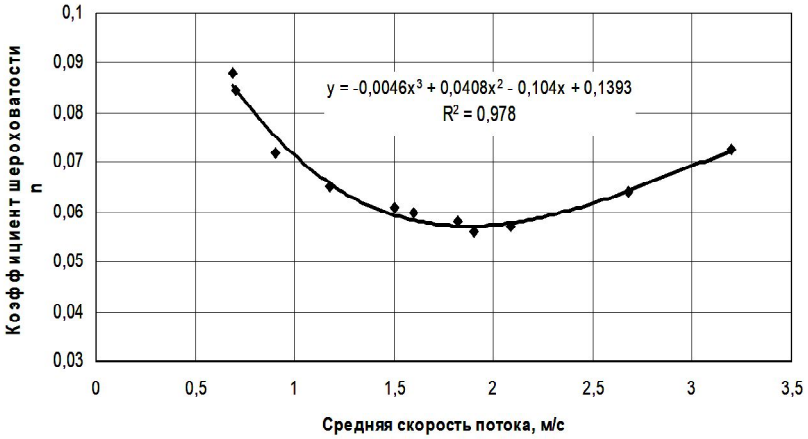


Рисунок 50 - Зависимость коэффициента шероховатости от средней скорости потока. р.Мзымта – пос. Кепш

По данным этого поста было вычислено 142 значения коэффициента шероховатости при $v_{ср}$ =0,54- 3,22 **м/с,** $h_{ср}$ =0,98—2,77 м, ***Q,*** =11,4 -2.56 м^3/с . Наименьшая величина *п* =0,048, а наибольшая - ***п*** =0,089. Точки (***п*** , $v_{ср}$) расположились на графике (см. Рис.50) разбросанно (при отклонениях до ±20% , но все же отчётливо образуют параболу с минимумом при $v_{ср}$ =1,8 - 2,2 м/с**.**

7.2.10 Гидрометрические посты р.Бешенка-р.п.Красная Поляна и р. Кепш-пос.Кепш

Это небольшие горные водотоки, характеризующиеся огромны-

ми уклонами (у р.Бешенки ***i*** =51 —61 *‰*, у р.Кепш - ***i*** =13 - 23 *‰)* и валунным типом русел. КШ для них получены очень большими - до ***n*** **=0,127** (см. Рис.51).

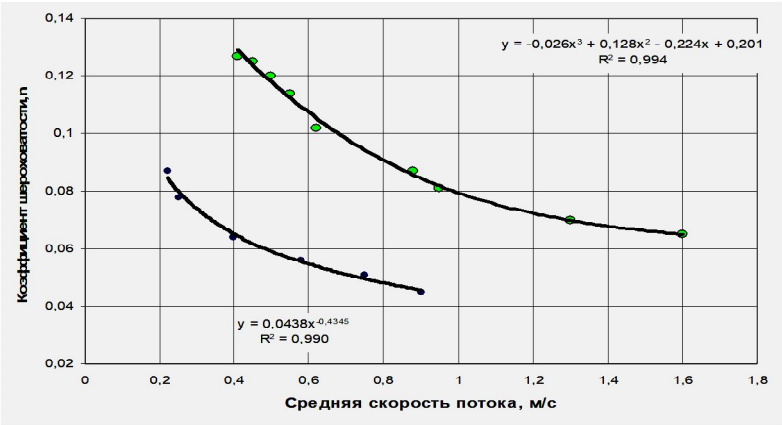


Рисунок 51 **-** Зависимость коэффициента шероховатости от средней скорости потока. р.Бешенка – р.п.Красная Поляна, р.Кепш - пос. Кепш

Совмещенные на одном графике кривые связи $n=f(v_{ср})$ показывают, что:

а) все кривые имеют вид параболы различной формы (иногда - довольно сложной), смещенных относительно друг друга по вертикали, и в меньшей степени - по горизонтали;

б) для каждого створа отчетливо видна левая ветвь параболы, т.е. увеличение шероховатости при уменьшении глубин для меженных расходов;

в) минимальные значения на каждой из парабол смещаются вправо с увеличением высоты её расположения; так, если для створа р.Сочи-г.Сочи минимум ***n***=0,022 при $v_{ср}$=1,4 м/с, то для створа р.Мзымта-пос.Кепш ***n*** =0,058 при $v_{ср}$ =2,0 м/с;

г) правая ветвь параболы не для всех створов ясно выражена - вероятно, за счёт недостаточности по количеству измеренных расходов воды.

Выводы. Таким образом, коэффициенты шероховатости для

горных рек оказываются весьма динамичными и изменяются в больших пределах, что является причиной очень больших ошибок при вычислении максимальных расходов воды по формуле Шези, в особенности - при определении КШ по таблице Срибного,

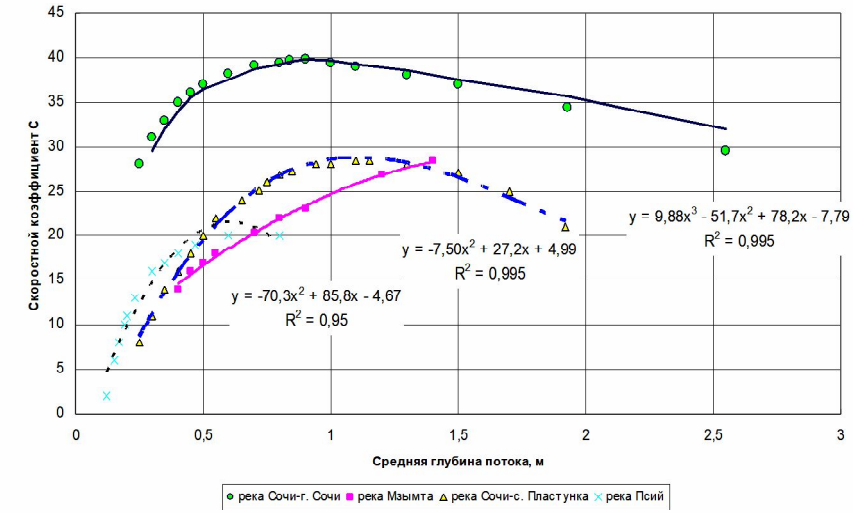


Рисунок 52 – Зависимость скоростного коэффициента от средней глубины потока.

Основными факторами, влияющими на динамику КШ, являются: размер и характер расположения выступов дна, форма русла, глубина и уклон. Все эти факторы и определяют форму кривых связи $n=f(h_{cp})$ и $n=f(v_{cp})$. Разумеется, чем больше деформация русла, тем больше разброс точек на графиках связи $n=f(v_{cp})$, что можно видеть и по прилагаемым зависимостям: для створа с наименьшей деформацией (р.Сочи-с. Пластунка) точки (n, v_{cp}) имеют минимальный разброс, а для створа с наибольшем деформацией (р.Шахе-с.Солох-Аул) - максимальный.

При этом следует отметить, что рассеяние точек имеет определенный предел, различный для разных створов. Минимальное значение при v_{cp} =1,4 - 2,0 м/с коэффициента шероховатости указывает на то, что каждое русло при каком-то среднем для данной реки расходе воды име-

ет наибольшую пропускную способность, больше и меньше которого пропускная способность уменьшается. Этот **оптимальный расход** будет, очевидно, **руслообразующим**. Для расходов, меньших руслообразующего, КШ увеличивается за счет увеличения относительной шероховатости ***Δ/h*** (при этом высота выступов и их расположение, т.е. рельеф шероховатости - будет неизменным). Для расходов, больших руслообразующего расхода, увеличение КШ связано с увеличением насыщенности водного потока влекомыми и взвешенными наносами - при достаточно больших скоростях теряется четкая граница между потоком и дном. Помимо этого фактора не следует также забывать и о том, что в большинстве случаев с ростом уровня воды увеличивается и тормозящее влияние пологих берегов и поймы.

О влиянии влекомых наносов на динамику КШ писал Б.В.Поляков: «В отношении второго фактора необходимо указать, что подобно тому, как значительное увеличение мутности потока влечёт за собой уменьшение скорости движения потока, так и увеличение влечения донных наносов несомненно, изменяет условия трения в пограничном слое. Шоклич нашёл, что при прочих равных условиях расход в опытном лотке при подвижном дне меньше, чем при неподвижном, т.е. фиксирование донных частиц освобождает известное количество энергии, идущее на увеличение расхода. Очевидно, что поток, имеющий большое количество донных наносов, даёт более шероховатое соприкосновение с ложем».(Поляков, 1936)

Проф. Вызго была построена обобщённая для некоторых рек Средней Азии зависимость ***n=f (Q).*** Касаясь вида этого графика, Вызго пишет: «Значения коэффициента шероховатости меньше в условиях устойчивого состояния, при движении донных наносов, и увеличиваются с уменьшением расхода и с прекращением движения наносов. Некоторое увеличение "кш" наблюдается при увеличении расхода...» (Вызго,1951). Вероятно, построение графика ***n=f (Q)***, обобщенного для нескольких рек, было произведено для таких рек, которые были примерно одинаковы по условиям протекания и по своей водности. Как показали приводимые здесь графики, для различных рек, и даже для участков

рек, нельзя построить общей зависимости $n=f(v_{ср})$.

Проф.А.Н.Ахутин отмечает несколько другие причины увеличения коэффициента шероховатости: «Вместе с тем замечено, что при увеличении глубины свыше известного предела значение КШ снова может возрастать, причём это возрастание объясняется не только увеличением шероховатости в верхних заросших травой и кустарником частях русла или растеканием воды по поймам, но и увеличением при высокой воде степени неравномерности течения воды». (Ахутин, 1936)

Очень интересны следующие его указания: «Замечено также, что при резком чередовании перекатов и глубоких плёсов значения КШ получаются несколько искаженными. Очевидно, на величину КШ влияет каким-то образом наличие верхнего, а иногда, наоборот, нижнего участка, резко отличным характером течения».

Эти последние обстоятельства дают некоторое основание утверждать, что для вычисления КШ во многих (если не во всех) случаях следует пользоваться не уравнением равномерного движения (Шези), а основным уравнением неравномерного движения, учитывающим изменения скоростей при переходе от одного сечения к другому. Лучше всего для этой цели может служить уравнение:

$$i = \alpha\left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}\right) + \frac{v^2}{C^2 R}\ , \qquad (102)$$

в котором v_1 , v_2 , и i измеряются непосредственно на месте; **v** и **R** вычисляются как средние значения на данном участке.**"** **(**Ахутин, 1936**)**

Исходя из анализа обработанных натурных данных по КШ, можно сделать ещё один вывод: чем большим запасом кинетической энергии обладает поток, тем большее её количество этот поток (в естественном состоянии) должен затратить на преодоление путевых сопротивлений, т.е. тем больше КШ. Это объясняется взаимодействием потока с руслом: увеличение скоростей резко повышает транспортирующую способность потока. По тем же причинам коэффициенты шероховатости будут больше для перекатов, чем для плёсовых участков рек, должно также наблюдаться уменьшение КШ от истока к устью реки. Интересно отметить, что для зарегулированной реки (устроены бетонные берего-

вые стенки - гидроствор р.Сочи - г.Сочи) коэффициенты шероховатости оказались наименьшими в сравнении с другими – не зарегулированными - реками.

На основании проведенного анализа можно предложить следующие рекомендации:

- При определении скоростного коэффициента для формулы Шези следует пользоваться формулами Павловского или Агроскина, поскольку указанные формулы дают наиболее надёжные результаты по сравнении с другими.

- Выбор коэффициента шероховатости по таблице Срибного на основании характеристик водного потока обладает тем недостатком, что в оценку ***n*** вносится элемент субъективности, что может привести к большим ошибкам в расчётах. Помимо этого, при таком выборе не учитывается динамика коэффициента шероховатости.

- Коэффициент шероховатости можно с достаточной степенью точности определять по построенным на основании гидрометрических данных зависимостям $n=f(h_{cp})$ или $n=f(H)$.для рек с небольшой деформацией русла.

- Как показала обработка опытных данных, коэффициент шероховатости для горных рек может изменяться в значительных пределах, увеличиваясь до n=0,100 - 0,127 при малых расходах и до n=0,050 - 0,070 - при паводковых расходах, и уменьшаясь до n=0,022 - 0,042 при средних расходах. По своей динамичности коэффициент шероховатости почти одинаков со скоростным коэффициентом. Так, для створа р.Сочи-с.Пластунка отношение $\frac{n_{max}}{n_{min}} = 2,1,$ а $\frac{C_{max}}{C_{min}} = 2,8.$

- В связи с разработкой в последнее время некоторыми авторами формул для ***C*** с введением характеристики абсолютной шероховатости, наиболее достоверным способом оценки шероховатости естественного русла может быть установление его абсолютной шероховатости путём непосредственного измерения характерных неровностей дна или путём стереофотосъёмки.

7.3 Влияние площади водосбора на речной сток

Как показано выше, на изучаемых реках во внутригодовом распределении преобладает сток холодного периода: на него приходится 85,7…81,5% годового объема в маловодном году, 85,5…76,4 – в среднем по водности году и 84,9…78,7% – в многоводном году. Средние модули максимального стока, по многолетним данным, достигают 2200 л/с · км^2. Следует отметить четкую зависимость норм модулей максимального стока от величин площадей водосбора: максимальные расходы увеличиваются приблизительно пропорционально корню четвертой степени из площади водосбора:

$$\mathbf{Q_{max} = k\ F^{1/4}.} \qquad (103)$$

Максимальные расходы отмечают чаще всего в конце лета. По длине реки модули стока возрастают от устьев к истокам, что связано с увеличением средней высоты бассейна. В приустьевой части все реки побережья имеют в руслах большие галечные накопления, внутри которых проходит значительный подрусловой сток. В засушливые годы некоторые реки, даже довольно крупные (р.Псезуапсе), полностью теряют сток в галечниках.

Поскольку из-за влияния площади водосбора генезис стока на опытных бассейнах различен (различна доля подземного питания ручьев), имеет смысл провести анализ суммарного сезонного стока каждого водосбора по периодам с помощью сравнительных коэффициентов.

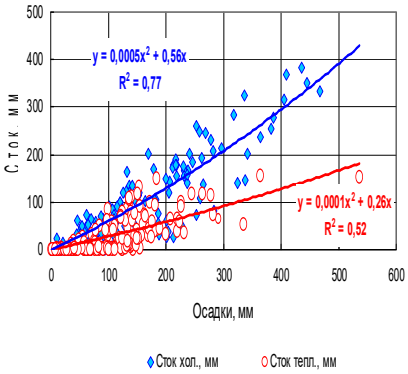


Рисунок 53– Связь сумм стока за месяцы с осадками за холодный и теплый периоды на водосборе площадью 23 га (дубравы ЛГС «Горский»)

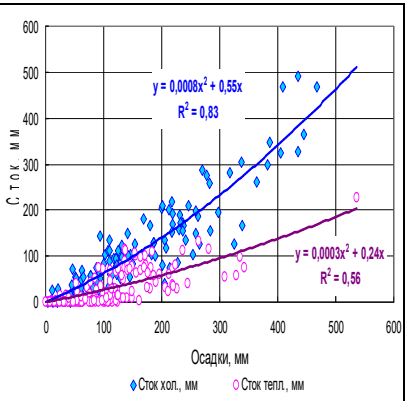


Рисунок 54– Связь сумм стока за месяцы с осадками за холодный и теплый периоды на водосборе площадью 9 га (дубравы ЛГС «Горский»)

Усредненная кривая изменения коэффициентов годового суммарного стока с увеличением площади водосбора аппроксимируется в пределах 0-20 га экспонентой (рис. 55):

$$\alpha = 0{,}67 * e^{0{,}225\,F} - 0{,}7, \qquad (104)$$

где: α - коэффициент годового стока в %; **F** – площадь водосбора в га.

С дальнейшим увеличением площади бассейна для водосборов более 20 га рост α замедляется, и экспонента (104) заменяется **S**-образной кривой (для F =0…30 га):

$$\alpha = F * 10^{-4} * e^{-0{,}183\,F} \qquad (105)$$

Зарегулированность стока в зависимости от площади водосбора. Представляет интерес оценка естественной зарегулированности стока с помощью кривых обеспеченности суточных расходов воды (Соколовский, 1968). Коэффициент зарегулированности (**φ**) определяется площадью нижней части гидрографа, ограниченной сверху средним многолетним расходом, т.е. долей базисного стока в годовом его объеме.

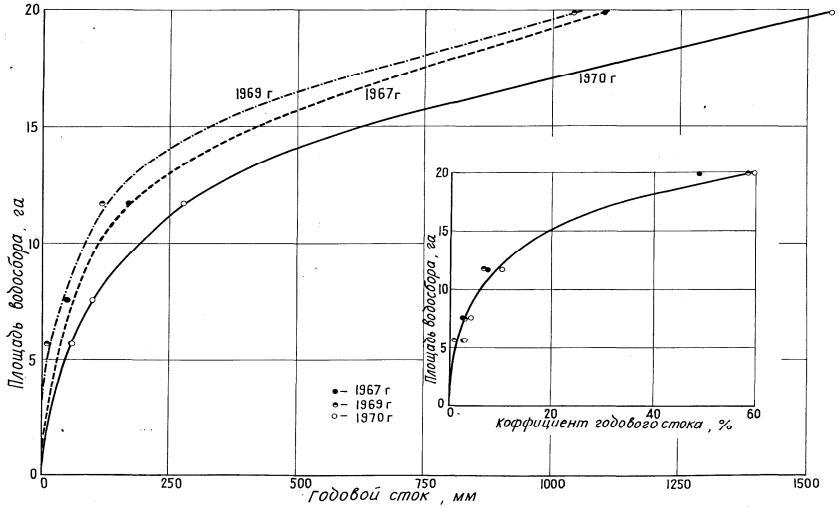


Рисунок 55- Зависимость объема и коэффициента годового стока от площади водосбора в букняках (по материалам наблюдений на малых водосборах)

Для характеристики водорегулирующей роли горных лесов юго-восточной части Черноморского побережья привлечены материалы многолетних наблюдений на постах Росгидромета.

Водный баланс этой части региона 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.

Для зоны ***буково-каштановых лесов*** репрезентативным является ***бас. р.Псий*** - правобережного притока р.Шахе (площадь водосбора - 20,4 км^2, длина реки - 9,8 км). Для бассейна р.Псий характерным является очень четкое ограничение его пространства (при юго-западной ориентации). Водораздельная линия этого 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.

В верхней части бассейна преобладают склоны крутизной более 30^0 (занимают 35% площади бассейна), в средней и нижней частях - склоны $20\text{-}30^0$ (около 40%), $11\text{-}20^0$ (около 20%) и до 10^0 (не более 5%).

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.

Наблюдения за осадками в бассейне р.Псий показывают, что 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, годовая сумма осадков здесь за 22-летний период наблюдений изменялась от 2156 до 3681 мм; из них -в холодный период - от 1241 до 2565 мм, в теплый период - 478-1540 мм. Варьирование стока оказалось большим, чем колебания количества осадков. Максимум стока за год (2485 мм) более чем в 2 раза превышает минимум (1128 мм). Сток холодного периода изменялся от 1966 до 738 мм, т.е.почти в 3 раза, а теплого периода - от 1097 до 140 мм (почти в 8 раз).

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 бас.р.Псий ***средний баланс за гидрологический цикл*** 1951-65 гг. выглядит следующим образом:

в мм: $2940 = 1940 + 1000;$ (105)

в %%: $100{,}0 = 66{,}0 + 34{,}0.$ (106)

Основную часть в балансе занимает глубоководное грунтовое питание - в сумме со склоновым стоком достигает 66 % для р.Псий.

Суммарное испарение составляет здесь около 1/3 баланса.

На 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 поводок достиг 0,90. Обычные же осадки не превышают 20 мм, и летом стока не дают (стокообразующими являются ливни более 20 мм).

Водорегулирующая роль леса ***северо-западной части побережья*** (дубравная зона) в условиях недостаточного увлажнения могут характеризовать данные по ***бас . р. Дюрсо***, который расположен в предгорьях крайней северо-западной части региона. Площадь его 51,9 км^2, средняя высота над ур.м. - около 170 м. В геологическом отношении бассейн находится в зоне широкого распространения верхнемеловых известняков и мергелей. Почвы в основном горные коричневые, маломощные, лишь на пойме реки встречаются аллювиальные слитые карбонатные почвы. Бассейн занят преимущественно низкобонитетными (V-Va классы) дубовыми насаждениями VI-VIII-го класса возраста с запасом древесины около 64 м3/га.

Среднее годовое количество *осадков* составляет 806 мм, что в 3,7 раза меньше, чем в бассейне р.Псий. За 20 лет наблюдений наибольшее количество осадков выпало в 1956 г. (1183 мм), наименьшее - в 1957 г. (528 мм). Годовые максимумы суточных осадков - от 26 до 111 мм.

Водный баланс бассейна р.Дюрсо характеризуется недостатком выпадающих осадков, что накладывает свой отпечаток как на взаимоотношения элементов баланса, так и на их внутригодовой режим. Так, сток проходит в основном в зимнее время; в летнее время он уменьшается в 5 раз, и происходит в основном за счет бассейнового регулирования зимних осадков. Наибольшая величина месячного стока отмечается в январе-марте (до 152 мм), наименьшие величины - почти ежегодно регистрируются в сентябре-октябре, иногда в ноябре (0,8-5,5 мм). В течение гидрологического года весенние влагозапасы в бассейне расходуются почти полностью. Поэтому расчет суммарного ис-

парения для отдельных гидрологических лет будет достаточно точным. По среднемноголетним данным водный баланс реки Дюрсо выражается следующим образом:

в мм: 806 = 280 + 526; (107

в %%: 100,0= 34,7 + 65,3. (108)

Основную долю расхода составляет суммарное испарение. В отдельные годы, когда летом осадков выпадает достаточное количество, испарение только за летний период достигает 582 мм.

Для сравнения водорегулирующей роли на различных водосборах можно применять коэффициент естественной зарегулированности стока $К_f$, который определяется площадью нижней части гидрограф, ограниченной сверху средним многолетним расходом, т.е. долей базисного стока (Соколовский, 1968).

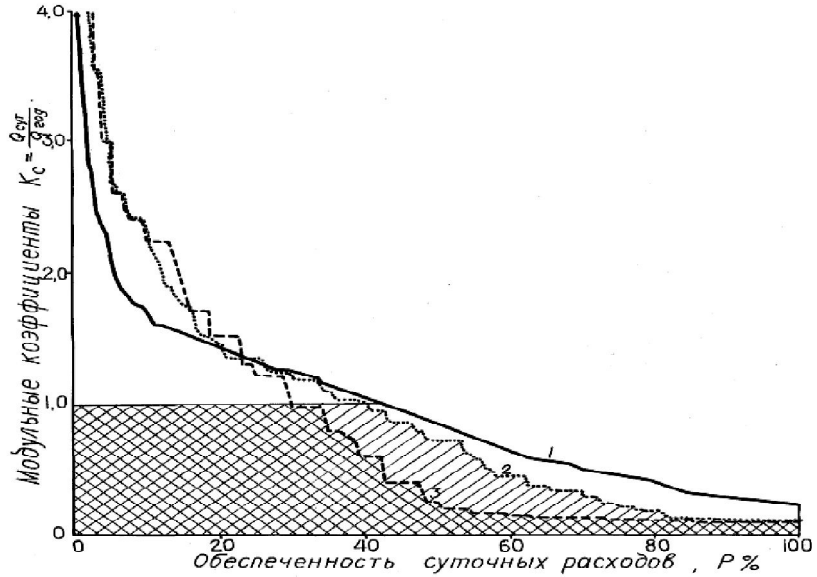


Рисунок 56 - Естественная зарегулированность стока на водосборах рек Псий (2), Дюрсо (3) и на контрольном водосборе №4 ЛГС «Аибга» (1).

Удобно определять коэффициент $К_f$ по обеспеченности суточных расходов. На рис. 56 даны кривые обеспеченности суточных по 4-

му ручью стационара "Аибга", рек Псий и Дюрсо в средние по водности годы. Площадь, ограниченная модульным коэффициентом К = 1,0 (на рис. 63 заштрихована), отнесенная ко всей площади между осями координат и кривой обеспеченности, дает величину $К_f$. Для ЛГС “Аибга” $К_f$=0,75; для бас.реки Псий $К_f$ = 0,65; для реки Дюрсо $К_f$ =0,59.

Для зоны буковых лесов получено значение φ = 0,75, буково-каштановых лесов (река Псий) - φ = 0,65, для зоны недостаточного увлажнения (сухие дубравы, р. Дюрсо) φ = 0,59. Таким образом, в условиях избыточного увлажнения юго-восточной части Северного Кавказа наибольшей водорегулирующей и почвозащитной способностью обладают девственные буковые насаждения.

7.4 База данных по осадкам на основе наблюдений Росгидромета

По материалам наблюдений на опорной сети Росгидромета собраны данные по осадкам и стоку Черноморского Побережья Краснодарского края и части бассейна реки Кубань.

В табл. 36 приведен перечень пунктов наблюдений опорной сети Росгидромета, на которых проводилась регистрация режима осадков. По всем этим пунктам составлены таблицы месячных сумм осадков за гидрологические годы (холодный сезон – с ноября по март месяцы, теплый сезон – с апреля по октябрь месяцы). Собраны банки данных по осадкам и стоку перечисленных в таблицах 36 и 37 метеостанциях и гидростворах, которые послужили исходными данными для анализа особенностей климата и стока региона .

Материалы по осадкам и стоку лесистой части бассейна реки Кубань – бассейн реки Белой использованы для анализа влияния лесопользования на климатические и гидрологические изменения этого региона, поскольку здесь находятся основные лесоразработки с наиболее интенсивными технологиями, включая применение тракторных трелевок древесины при максимальных нарушениях лесной среды. В табл. 37 приведены данные о нормах годовых сумм осадков Черноморского побережья Кавказа по данным климатически справочников разных выпусков.

Таблица 36 - Перечень метеостанций и постов с наблюдениями за осадками (суммы осадков за месяцы)

Причерноморье		Среднегорная часть бассейна Кубани	
Метеостанция (пост)	Период (годы)	Метеостанция (пост)	Период (годы)
Абрау-Дюрсо	1894-2008	Апшеронск	1944-2008
Анапа	1897-1965	Белореченск	1924-2008
Ачишхо	1929-2005	Бурное	1927-1985
Бабук-Аул	1929-2005	Верхние Тубы	1928-2008
Гойтх	1958 –2008	Горячий Ключ	1890-2008
Горный (хребет)	1912-2008	Гузерипль	1929-2008
Дефановка	1946-2008	Даховская	1959-2008
Джубга	1891-2008	Каменномостский	1925-2008
Кепш	1928-1985	Красно-Октябрьский	1931-2008
Кодошский маяк	1878-2005	Майкоп	1897-2008
Красная Поляна	1901-2008	Нижегородский	1932-2008
Мархотский перевал	1893-1985	Хамышки	1926-1985
Садовое	1932-2008	Черниговская	1931-2008
Солох-Аул	1932-2008	Шунтук Верхний	1964-2008
Сочи	1896-2008	Шунтук Нижний	1964-2008
Туапсе-порт	1876-2008		

Таблица 37 - Сравнение данных по нормам осадков из различных источников

№№ п/п	Наименование станции, поста	Высота над ур. м, м	Норма осадков-1, мм	Норма осадков 2	№№ п/п	Наименование станции, поста	Высота над ур.м, м	Норма осадков за год, мм	Норма осадков 2
1	Анапа	11	417	548	27	Сочи, Даховск. посад	12	2093	-
2	Абрау-Дюрсо	107	626	712	28	Сочи, порт	5	1478	-
3	Маркотхский пер.	432	698	-	29	Благодать	150	1370	-
4	Новороссийск	37	688	805	30	Сочи, агрометст	57	1534	1664
5	Дообский маяк	84	520	-	31	Алек	250	1800	-
6	Солнцедар	6	598	-	32	Мацеста старая	25	1649	1772
7	Геленджик	4	796	779	33	Ажек	250	1960	-
8	Криница	60	659	-	34	Бабук-Аул	620	2145	-
9	Пшада	35	1272	1224	35	Семеновка	350	1700	-
10	Джубга	21	968	1176	36	Мацеста новая	15	1632	-
11	Ольгинская	15	1092	-	37	Калиновое оз.	460	2112	2248
12	Кодошский маяк	55	1130	1315	38	Ахун нижний	60	1372	-
13	Туапсе	79	1219	1424	39	Хоста	10	1512	1635
14	Пеус	320	1913	-	40	Ахун верхний	400	1659	-
15	Чилипси	480	1569	1726	41	Верхняя Николаевка	350	1515	-
16	Гойтх	325	1476	1843	42	Адлер	13	1377	1507
17	Аше	9	1516	1694	43	Лесное	800	1747	-
18	Лазаревская	10	1541	1672	44	Модаванское	60	1544	-
19	Алексеевка	50	1852	--	45	Нижнее-Шиловка	220	1292	-

20	Шахе	5	1690	-	46	Кепш	194	2199	
21	Грачево-Кечикей	475	2332	-	47	Ачишхо	1880	3242	3682
22	Уч-Дере	105	1405	-	48	Красная Поляна	566	1795	1904
23	Тух-Аул	150	2116	2456	49	Аибга	824	1586	-
24	Дагомыс	52	1560	-	50	Эсто-Садок	504	1686	-
25	Солох-Аул	200	2321	2456	51	Пслух караулка	988	1564	-
26	Волковка	130	1723	-					

Примечание: норма 1 – данные климатических справочников до 1970 г.; норма 2 – опубликованные материалы в климатических справочниках 1970-85 гг.

Для сравнения приводим наши данные, полученные на основании вычислений, полученных в результате обработки современных рядов наблюдений (табл.38)

Таблица 38 – Нормы годовых и сезонных сумм осадков по метеостанциям северо-западной части региона ЧПК

Метео Станции	Хол.пер	Тепл.пер	Год	Норма - 1	Норма - 2
Анапа	240,5	248,5	489	417	548
Абрау-Дюрсо	298,8	313,4	612,2	626	712
Новороссийск	426,4	371,6	798	688	805
Геленджик	372,5	353,8	726,3	796	779
Дефановка	879,2	678,8	1558	-	-
Джубга	567	559,8	1126,8	968	1176
Туапсе	665,4	651,3	1316,7	1219	1424
ЛГС Горский	823,8	705,7	1529,5	-	-

На рис. 57 даны хронологические графики среднестатистических месячных сумм осадков для этой части региона.

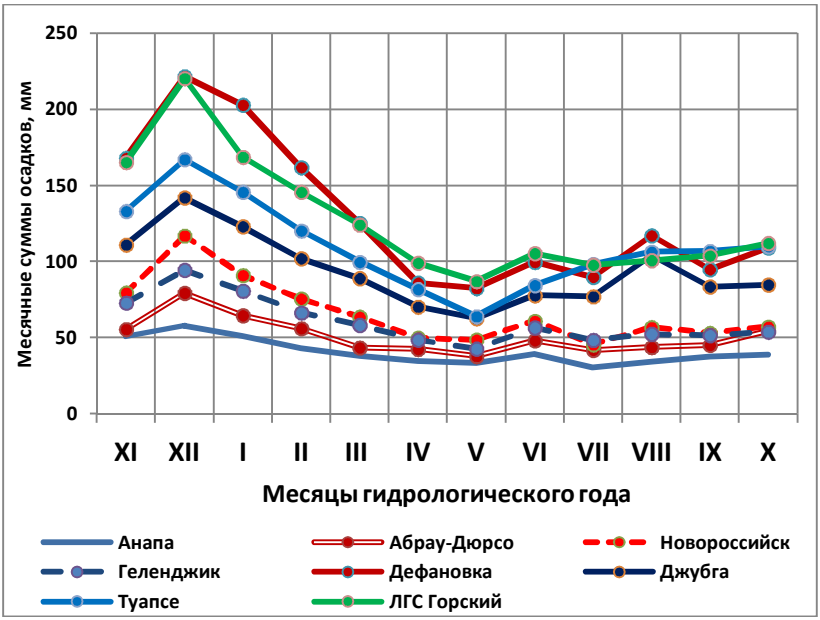


Рисунок 57 - Нормы месячных сумм осадков на метеостанциях ЧПК

Совершенно очевидно, что нормы осадков по территории растут в направлении с северо-запада на юго-восток региона, а также связаны с высотой местности. Установлено, что графики связи норм осадков с высотой в бассенах рек Шахе, Мзымты и Сочи слабо коррелированы.

Анализ базы данных по осадкам в бассейне реки Мзымта

По материалам базовых наблюдений на сети Росгидромета (МС Сочи, МС Красная Поляна, МС Ачишхо и МП кордон Лаура) и ведомственных пунктов наблюдений (ЛГС «Аибга» ФГУ НИИгорлесэкол и МС Джуга Кавказского ГБПЗ) выполнен анализ на предмет выявления пространственных изменений осадков, а также многолетних трендов осадков на этих станциях. При этом приняты временные периоды: холодный сезон – с ноября по март, и тёплый сезон – с апреля по октябрь. Балансовые исследования, проведенные нами, показали, что в холодный период происходит накопление влаги в бассейнах рек и ручьев при

минимуме расходов на испарение, а в тёплый (или вегетационный) период происходит активное расходование накопленных запасов при максимальном испарении. Указанные границы периодов очень четко подтверждаются температурным ходом для Сочинского Причерноморья: устойчивый переход через +10 °С в сторону повышения весной наблюдается в начале апреля, а в сторону понижения осенью – в начале ноября.

По материалам приведенных выше баз данных по осадкам и температуре воздуха произведен аналитический и графический анализ многолетних норм этих элементов климата в приморском и горном кластерах. На рис.57 даны нормы месячных сумм осадков за многолетний период по приморскому кластеру (МС Сочи) и горному (МС Красная Поляна и Ачишхо, а также ЛГС «Аибга»). Внутригодовое распределение осадков в приморской зоне характеризуется относительной выравненностью, в то время как в горной зоне четко прослеживается увеличение осадков в холодный период в сравнении с теплым сезоном. При этом с увеличением высоты местности различия эти возрастают.

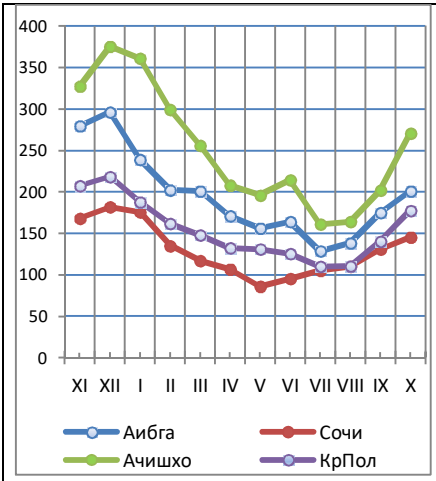


Рисунок 58– Среднемноголетние нормы месячных сумм осадков в приморском и горном кластерах бассейна реки Мзымта

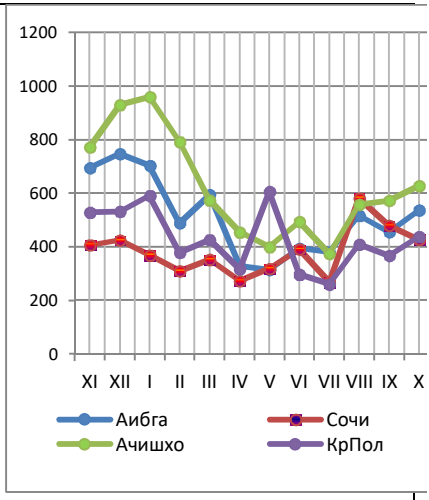


Рисунок 59 - Максимумы месячных сумм осадков в приморском и горном кластерах бассейна реки Мзымта

На рис. 58 приведены графики максимальных месячных сумм осадков по тем же метеостанциям, которые в основном подтверждают ход среднемноголетних месячных сумм. Следует отметить заметное увеличение максимумов к осени – по-видимому – за счет частых летних ливней в приморской зоне.

Сравнение среднемесячных температур воздуха в приморской и горной частях региона дает почти функциональные зависимости (R^2 = 0.918) – для средних величин холодного периода, и несколько хуже – для средних температур теплого сезона (R^2 = 0.757) и в целом для среднегодовых (R^2 = 0.858).

Получены статистические зависимости между характеристиками температур воздуха на метеостанциях приморского и горного кластеров:

- для средних температур холодного сезона :

$$Y= 1{,}03\ X – 5{,}2 \quad \text{при} \quad R^2 = 0.918$$

-для средних температур теплого сезона:

$$Y= 0{,}943\ X – 1{,}88 \quad \text{при} \quad R^2 = 0.757$$

-для средних годовых температур:

$$Y= 0{,}93\ X – 2{,}9 \quad \text{при} \quad R^2 = 0.858.$$

Здесь: Y – температуры воздуха на МС Красная Поляна, а X - температуры воздуха на МС Сочи.

Приведенные зависимости свидетельствуют о том, что в горном кластере (на нижней его границе) средняя температура воздуха в холодный период ниже на 5 градусов, в теплый – ниже на 7,5 град., и в целом за год – ниже на 6,4 град., чем в приморском кластере.

Для анализа многолетнего хода температур воздуха были построены хронологические графики изменения среднегодовых и среднесезонных значений температуры для приморского кластера (МС Сочи – рис. 67) и среднегорного кластера (МС Красная Поляна – рис. 68). Обращает на себя внимание очень малая амплитуда колебания как среднесезонных, так и среднегодовых значений температуры. Так, для МС Сочи зимние температуры воздуха колеблются в пределах от 5 до 10 град., летние – от 18 до 20 град., а среднегодовые – от 13 до 16 град. Многолетний тренд за период с 1870 по 2008 гг. характеризуется пря-

мой линией на уровне многолетних норм температуры (рис. 60).

По данным МС Красная Поляна прослеживается очень слабая тенденция к возрастанию летних температур (за период с 1960 по 2008 гг) при их колебаниях в пределах от 14 до 17 град. Колебания зимних температур значительно больше – от 1 до 5 град., а среднегодовые изменяются от 9 до 11 град.

Сравнение месячных сумм осадков по двум базовым станциям прибрежного и горного кластеров показало различие их связей для холодного и тёплого периодов. Так, рассчитана связь месячных сумм осадков по МС Сочи и МС Красная Поляна (имеющих почти 100-летний период наблюдений) за холодный сезон. Уравнение связи имеет линейный характер $H_{\text{Красная Поляна}}=0{,}737\ H_{\text{Сочи}}$ при показателе тесноты связи $R^2=0.514$. Это позволяет утверждать, что в приморском кластере осадков в среднем выпадает на ¼ меньше, чем в среднегорной зоне на высоте 566 м.

Интересные данные дает сравнение осадков высокогорной станции Ачишхо (Н=1880 м над ур.м.) В целом за гидрологический год уравнение связи $H_{\text{Красная Поляна}}=0{,}517H_{\text{Ачишхо}}+315$ имеет достаточно высокую оценку точности - $R^2=0{,}761$. Эта зависимость показывает, что увеличение высоты местности с 566 м до 1880 м увеличивает количество осадков почти в 2 раза.

Сравнение режима осадков среднегорной станции Красная Поляна (Н=566 м) и высокогорной МС Джуга, находящейся на высоте 2041 м.над ур.м. практически за влагозадерживающим хребтом Ачишхо, показывает уменьшение как сезонных, так и годовых осадков почти в 2 раза. При этом впечатляет уменьшение зимних осадков, которые на таких высотах почти всегда являются твердыми: $H_{\text{джуга}}=0{,}3908H_{\text{Красная Поляна}}$ при $R^2=0.5051$.

Рядом с базовой станцией Красная Поляна был организован пост на кордоне Лаура, находящемся примерно на одинаковой высоте (574 м). Анализ показал почти полное совпадение измеренных осадков с базовой МС:

$$H_{\text{лаура}}=1{,}0445\ H_{\text{Красная Поляна}} \quad \text{при } R^2=0{,}9556\ . \qquad (109)$$

Поэтому является сомнительным целесообразность организации поста, где результаты наблюдений практически совпадают с показаниями базовой МС Красная Поляна.

Сравнение осадков МС Ачишхо и среднегорной станции Гузерипль (бассейн р.Белой - северный макросклон) показывает различия в осадках почти в 3 раза. При этом четко прослеживается нелинейность зависимости осадков МС Гузерипль и МС Красная Поляна.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод о том, что в бассейне реки Мзымты наблюдаются достаточно устойчивые зависимости месячных, сезонных и годовых осадков в многолетнем разрезе. Закономерным является увеличение осадков прибрежного кластера и горного кластера – практически на 25 % до высот 500-600 м, и в 2 и более раз – до высот более 1200 м. (альпийская зона). При этом режим выпадения зимних осадков отличается более выровненным ходом, чем осадков теплого сезона.

В связи с этим проведен анализ **хронологических графиков** годовых и сезонных сумм осадков на всех изучаемых метеостанциях за весь период наблюдений, охватывающий время с 1896-1900 гг. до настоящего времени (рис. 60-64).

Так, на рис. 60 представлен хронологический график изменения годовых и сезонных сумм осадков на МС Сочи за период наблюдений 1896-2008 г.г. Установлено, что годовые осадки Сочи за многолетний период имеют разный характер в различные периоды, начиная с 1886 до 2008 гидрологические года. Здесь можно выделить отчетливо три периода: а) период 1897-1936 гг. – сравнительно небольшие отклонения от средней нормы около 1450 мм и две волны 22-х-летнего цикла; б) период 1937-1970 гг. – значительно большие отклонения от средней нормы около 1550 мм также с двумя волнами примерно 22-25-летнего цикла; в) третий период – с 1972 гидр. года по настоящее время - период увеличенного размаха многоводных и маловодных лет около средней величины, которая в этот отрезок составляет примерно 1660 мм.

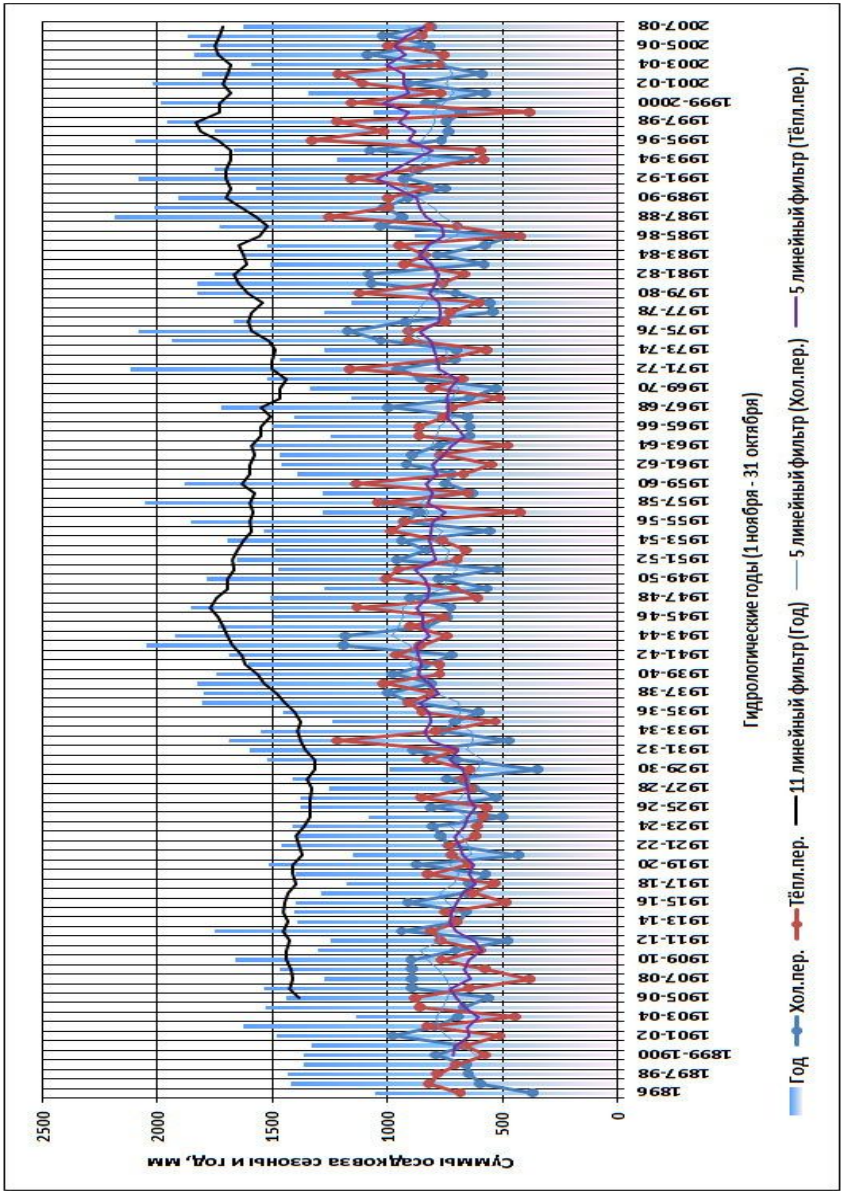


Рисунок 60- Хронологический график годовых и сезонных сумм осадков на МС Сочи за период наблюдений 1896-2008 г.г.

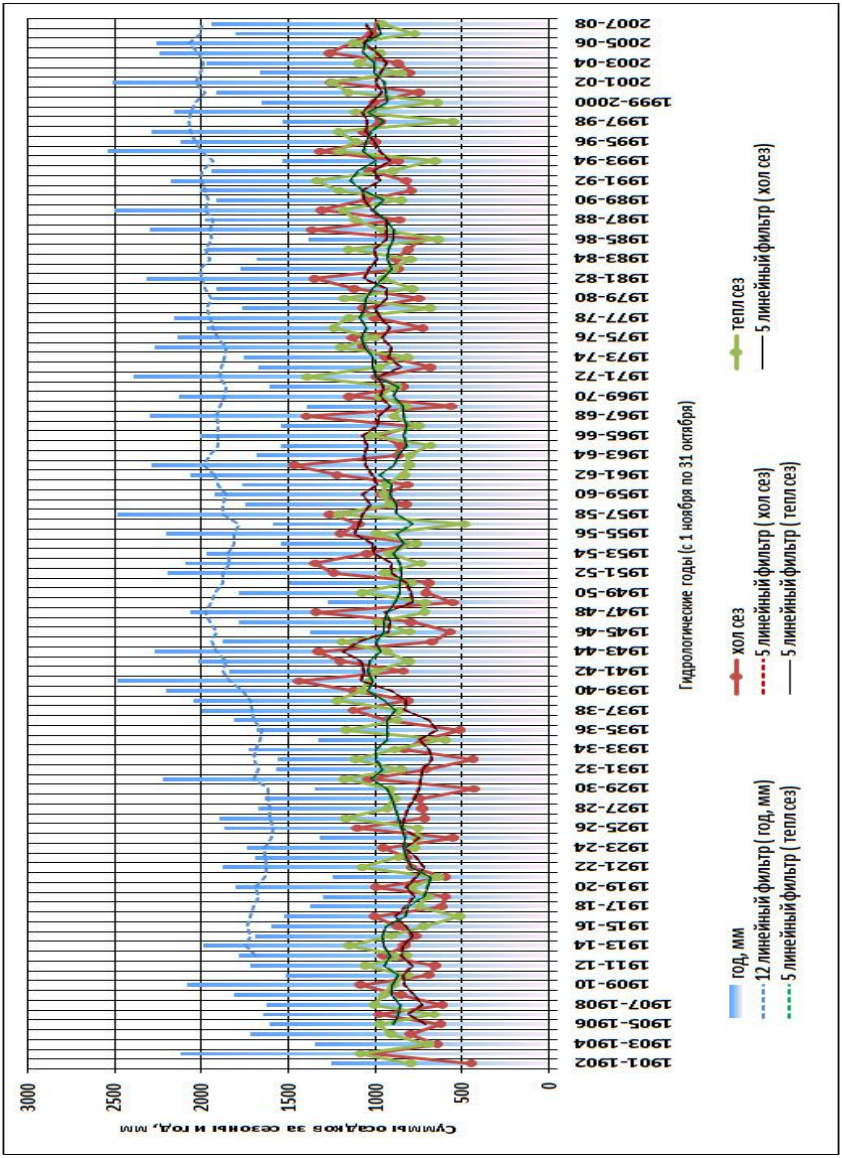


Рисунок 61- Хронологический график сезонных и годовых сумм осадков МС Красная Поляна (Н=566 м)

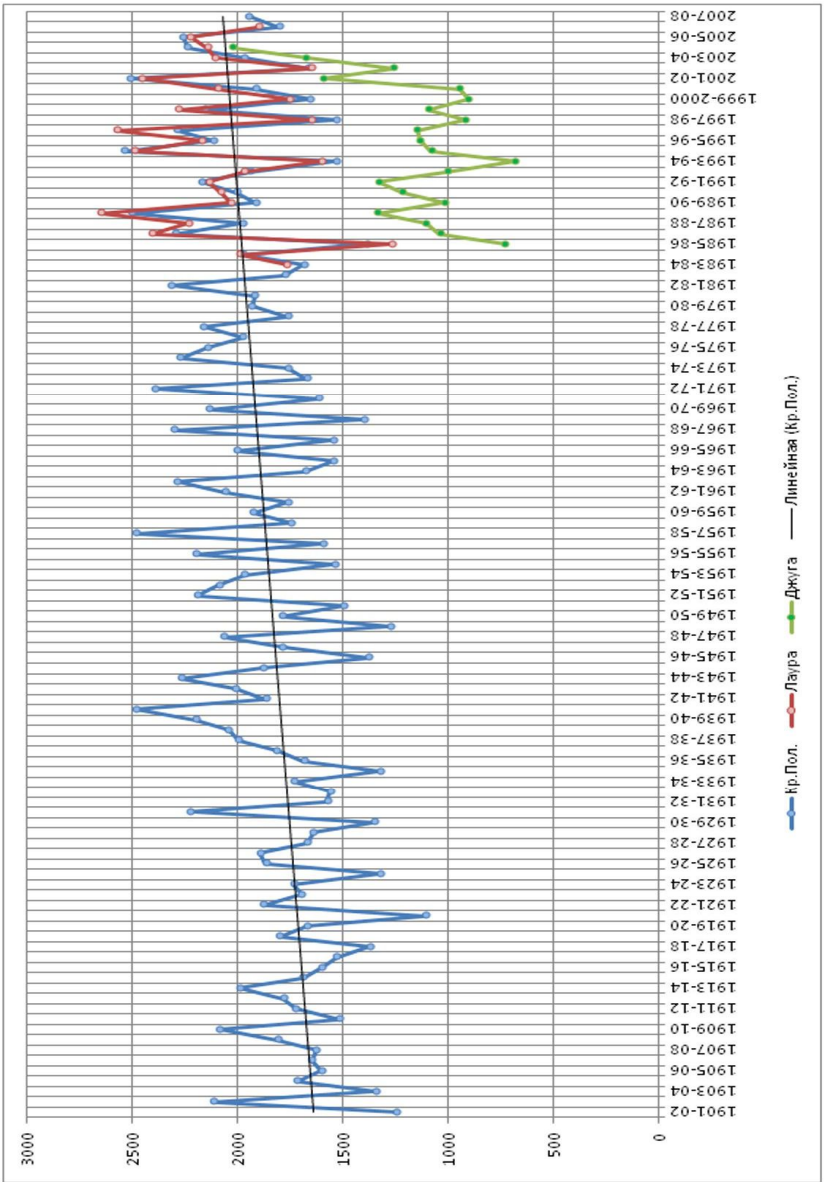


Рисунок 62 Хронологический график годовых сумм осадков МС Красная Поляна, кордон Лаура и МС Джуга

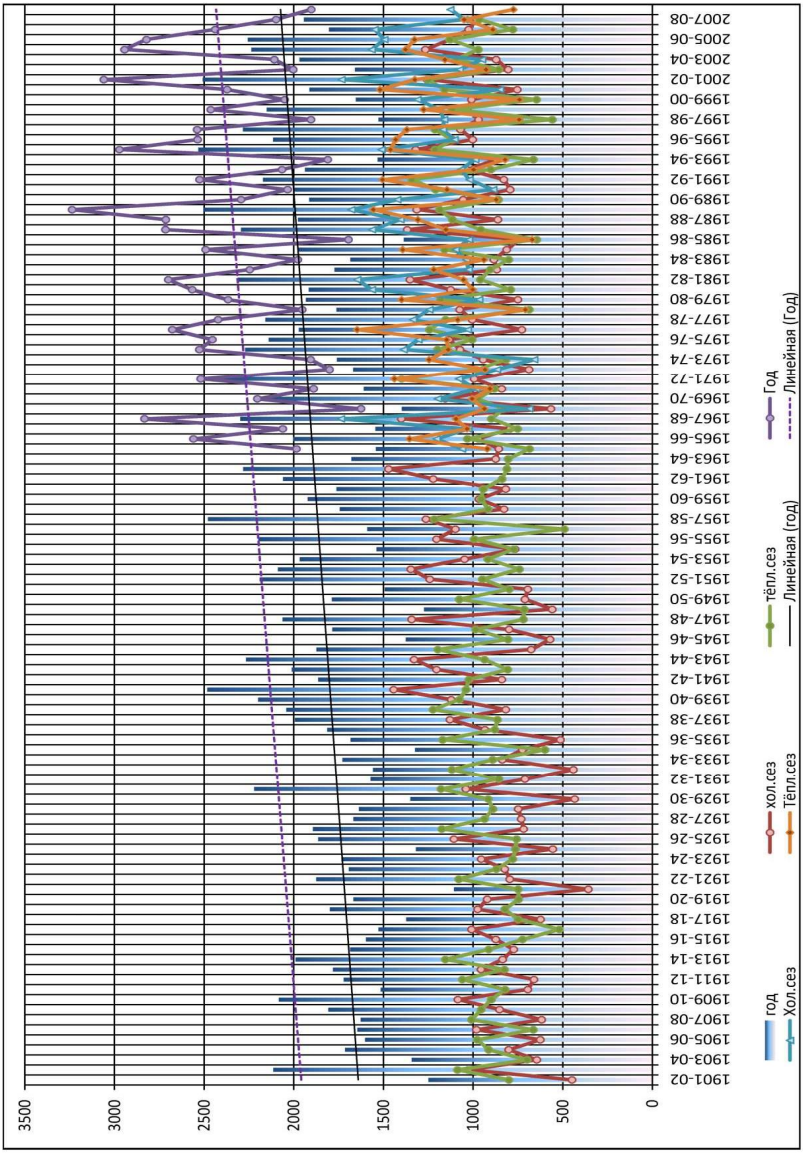


Рисунок 63 - Хронологический график изменений годовых и сезонных сумм осадков на МС Красная Поляна и ЛГС "Аибга"

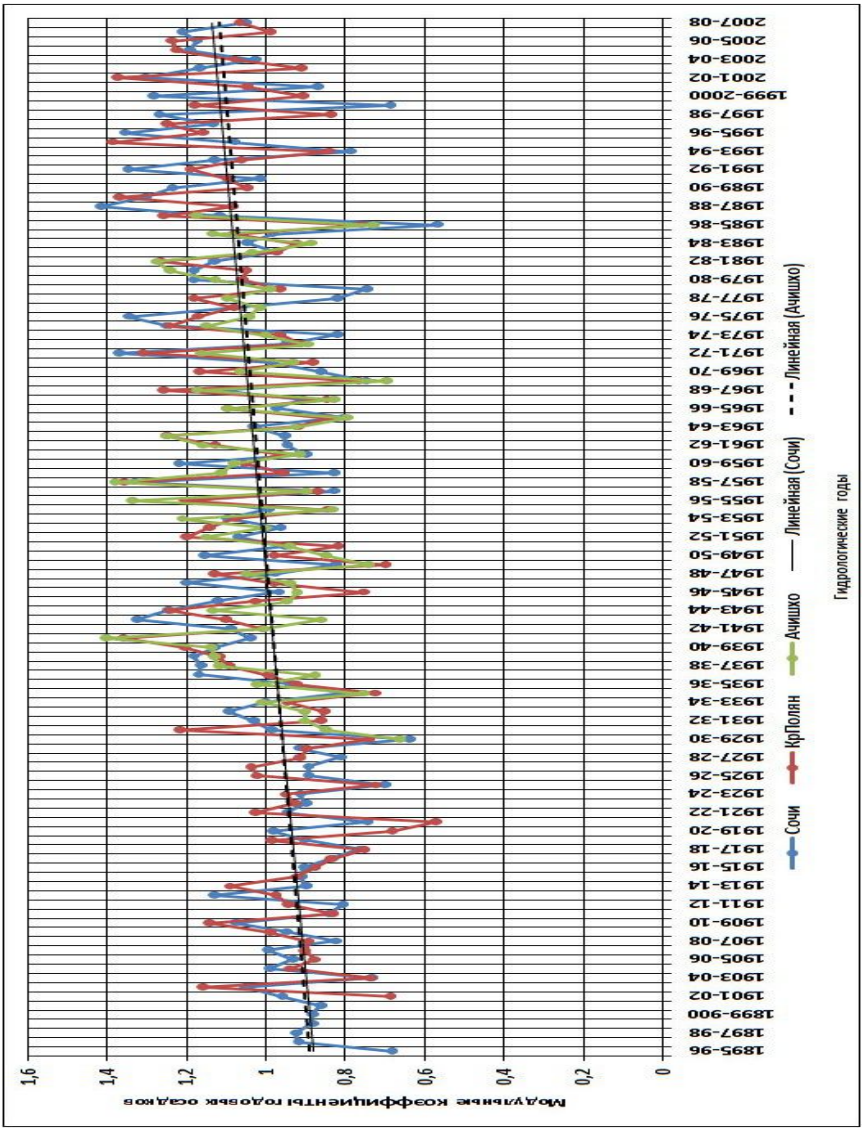


Рисунок 64 - Хронологический график модульных коэффициентов годовых осадков по метеостанциям Сочи (Н=57 м), Красная Поляна (Н=566 м) и Ачишхо (1880 м)

Все тренды (как общий линейный, так и осредненный за 5-летия) показывают увеличение годовой нормы осадков за последние 100 лет (рис.60, 61). Хронологический график сезонных сумм осадков МС Сочи подтверждает сделанные выводы по годовым суммам. Однако есть сезонные отличия: за последние два периода размах колебаний осадков теплого периода значительно увеличился и по отношению к сезонным суммам холодного периода, и по абсолютным значениям (рис.61). На рис.61 и 62 приведены аналогичные хронологические графики на МС Красная Поляна, где за период с 1901 по 2008 г.г. в общем прослеживаются те же закономерности, которые отмечены выше.

Рисунки 63 и 64 характеризуют графики изменения сезонных и годовых осадков высокогорной МС Ачишхо. Здесь менее выражено увеличение годовых осадков в последний период (1970-е годы до последнего времени). Это связано с меньшим периодом наблюдений (наблюдения начаты в 1929 г. и закрыта станция в 1988 г), а также с особенностями формирования зимних твердых осадков.

Общий хронологический график годовых сумм осадков, объединенный для МС Красная Поляна, кордон Лаура и МС Джуга показывает практическое совпадение результатов наблюдений на МС Красная Поляна и на кордоне Лаура (рис.64).

Резко отличаются данные МС Джуга (общее количество осадков меньше примерно в 2 раза, и особенно - увеличение размаха колебаний в последние годы. Однако, из-за небольшого периода наблюдений на МС Джуга говорить определенно о различиях в динамике осадков здесь не приходится. Обращает внимание устойчивый тренд увеличения осадков за весь столетний цикл: с 1650 мм в начале 20-го века до 2050 мм – в настоящее время. Следовательно, средний тренд увеличения осадков в горном кластере составляет около 400 мм за столетний цикл, или около 4 мм за год.

Аналогичные выводы подтверждаются материалами исследований на ЛГС «Аибга», где наблюдения проводятся с 1964 года. Наложение данных ЛГС «Аибга» на общий график горного кластера дает полное совпадение линейного тренда за вековой цикл, хотя и проходящий

выше линии МС Красная Поляна на 300 мм. Годовые изменения осадков на ЛГС «Аибга» подтверждаются ходом сезонных сумм осадков (рис. 65).

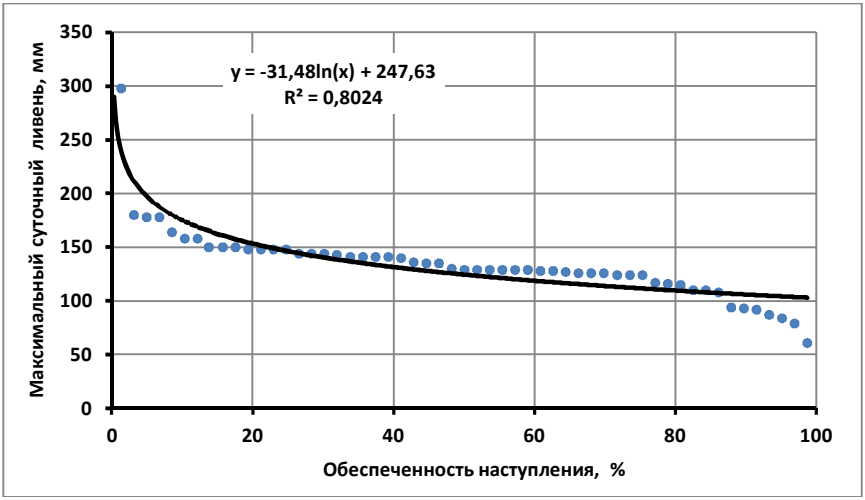


Рисунок 65 - Эмпирическая кривая обеспеченности суточных максимумов осадков на МС «Ачишхо», построенная по наблюдениям за период с 1929 по 1988 гг.

Одной из важных характеристик осадков являются максимальные суточные их количества. На рис. 65 приведена эмпирическая кривая обеспеченности суточных максимумов осадков на метеостанции Ачишхо, характеризующей режим осадков в высокогорье. Расчеты показывают, что среднемноголетняя величина максимума суточных осадков здесь составляет 123 мм при коэффициенте вариации наблюденного ряда C_v=0,284, коэффициенте асимметрии C_s= 2,206, и аксцессе E=9,334.

Заканчивается настоящий анализ усреднением наблюденных осадков по смежным метеостанциям бассейна реки Мзымты и расчетом модульных коэффициентов годовых осадков ($K_i=H_i/H_o$), которые (в долях от единицы) показывают отклонения годовой суммы осадков от их нормы на данной территории. График модульных коэффициентов (рис. 66) практически совпадает для анализируемых метеостанций, а тренд – целиком общий для всех МС.

Таким образом, следует считать доказанным факт увеличения осадков как в приморском кластере, так и в горном кластере (модульные коэффициенты увеличились от К=0,9 в 1896 году до К=1,1 в 2008 году). Эти выводы касаются всего бассейна реки Мзымты, и вероятнее всего – смежного с северного макросклона бассейна реки Белой.

7.5 Влияние снежного покрова на формирование речного стока

Особенности формирования снежного покрова в речных бассейнах Сочинского Причерноморья рассмотрены на примере зоны буковых лесов. Основные экспериментальные данные получены на лесогидрологическом стационаре (ЛГС) “Аибга”, располагающемся на склоне юго-западной экспозиции на высоте 480-1150 м. над ур. моря в бассейне реки Мзымта. Подробная характеристика района исследований приведены в монографии «Экологические функции горных лесов Северного Кавказа (Битюков, 2008)

Наблюдения за снежным покровом состояли в ежедневном измерении высоты снега на открытой метеоплощадке и периодических снегомерных маршрутных съемках на площадях рубок и под пологом леса. Периодичность снегосъемок - через 5 дней, методика - общепринятая в Росгидромете. Общая длина маршрута зависела от варьирования высоты и плотности снега, т.е. от равномерности залегания снежного покрова, при минимальной протяженности маршрута не менее 500 м. При выполнении снегосъемок и их первичной обработке пользовались указаниями Наставлений гидрометстанциям и постам (1956). При расположении экспериментальных водосборов на горных склонах с перепадом высот более 200 м маршрутные снегосъемки производили по двум взаимно перпендикулярным профилям.

В климатическом отношении для среднегорного района Сочинского Причерноморья характерен общий перенос масс воздуха с запада на восток. Однако наличие отрогов Большого Кавказа, существенно меняет направление и скорость ветров в районе. Преобладающее направление ветра зимой: северное, северо-западное, летом: юго-западное. В целом за год преобладают ветры северного направления. Температурный ре-

жим определяется помимо внешних причин, характером рельефа, абсолютными отметками поверхности. Заметное влияние оказывает ветровой режим (горно-долинные ветры, фены и морские бризы). Климат среднегорных районов региона Сочи (пос. Красная Поляна, пос. Эсто-Садок, Энгельмановы поляны, Турьи горы) характеризуется особым типом горно-умеренного климата крупных межгорных котловин. С севера этот район защищает от холодных ветров хребет Ачишхо, с северо-востока - Главный Кавказский хребет, с юга - хребет Аибга.

Пос. Красная Поляна расположен на горном плато (500-600 м над уровнем моря). Защищенность с севера основными горными хребтами Большого Кавказа обусловливает здесь относительно высокие среднегодовые температуры. Преобладающее направление ветра - юг, юго-запад. Средняя скорость ветра 1,7 м/с. Среднегодовая влажность 79%. Слабоморозный период продолжается со второй половины декабря до начала марта (около двух с половиной месяцев). Средняя температура воздуха в январе составляет 0,3 ^{0}С, в отдельные дни максимальная температура может повышаться до + 14 ℃, а абсолютный минимум достигает -15 °С. Период устойчивого залегания снежного покрова составляет в среднем 75-85 сут. Толщина снежного покрова в среднем 20-50 см при максимуме 150 см.

Весна ранняя, но относительно побережья Сочи прохладная и затяжная. Лето теплое, с большим количеством солнечных дней. Продолжительность солнечного сияния в районе Красной поляны -1777 солнечных часов в году.

На высотах 1000-2000 м над уровнем моря (Энгельмановы поляны, Турьи горы, хребты Аибга, Ачишхо, Псеашхо) среднесуточные температуры декабря-марта колеблются от 0 до -10°С. В течение года преобладают ветры северного направления; в зимний период – ветры северо-восточных направлений. На высоте 1000 м над уровнем моря продолжительность залегания снега 120-140 сут.

Территория характеризуется достаточно большим количеством атмосферных осадков: от 1664 мм в Сочи до 3242 мм на горе Ачишхо. На протяжении года осадки распределяются неравномерно, причем

осадки холодного периода (с XI по III месяцы) преобладают над летними. Толщина снега с ноября по март включительно колеблется в среднем от 100 до 400 см, но может доходить до 7 м. Плотность снега в январе составляет 0,44 г/ м^3, в феврале - 0,34 г/м^3, в марте - 0,38 г/м^3. Отличительной особенностью района является образование снежных лавин, их катастрофический рост в объеме и ускорении движения (скорость движения может достигнуть 300-350 км/час). Лавины бывают пылевидные и грунтовые. Пылевидные снежные лавины имеют большую скорость движения, при этом возникает воздушная волна, которая при своем прохождении вырывает деревья. При грунтовых лавинах обрушивается вся масса снега вместе с обломками и глыбами пород. Скорость движения таких лавин значительно меньше, чем скорость пылевидных лавин.

Очаги зарождения лавин располагаются на оголенных склонах хребтов на абсолютных отметках 2000-2600 м. В роли лавинных русел выступают V-образные эрозионные долины временных водотоков. Срываясь, лавины достигают лесной части склона и, обладая большой энергией, образуют в лесной зоне так называемые прочесы, протяженность которых достигает до 1,5 км. Область аккумуляции лавин представлена лесными завалами с присутствием обломочного материала различного размера, отмечаются останцы лавинных конусов. Лавины чаще всего наблюдаются в период с января по апрель месяц.

На ЛГС «Аибга» за 45-летний период наблюдений устойчивый снежный покров на стационаре наблюдался 34 раза - в те годы, когда средняя за холодный период года температура воздуха была ниже 4,5^0 С. При этом самой ранней датой установления снежного покрова была последняя декада ноября, а полностью снег сходил не позднее середины апреля. Исключительно суровой зимой для всего рассматриваемого региона оказалась зима 1975-76 гг., когда снежный покров наблюдался 130 дней - с 6 декабря по 14 апреля. Максимальная высота его достигла 210 см на открытом месте, а запасы воды в снежном покрове - 718 мм. При достаточно мощном снежном покрове очень четко различается его слоистость по профилю, определяемая сроками снегопадов. В верхнем 50-см слое снег имеет наименьшую плотность - 0,25-0,30 г/см^3, в

среднем полуметровом слое плотность увеличивается до 0,45 г/см^3, а еще ниже - до 0,55-0,60 г/см^3. Максимальная плотность снега в высокогорьях, где снежный покров залегает 4-7-метровым слоем, имеет величины 0,50-0,55 г/см^3. Это приближается к теоретически максимальной плотности старого фирнизированного снега - 0,68 г/см^3.

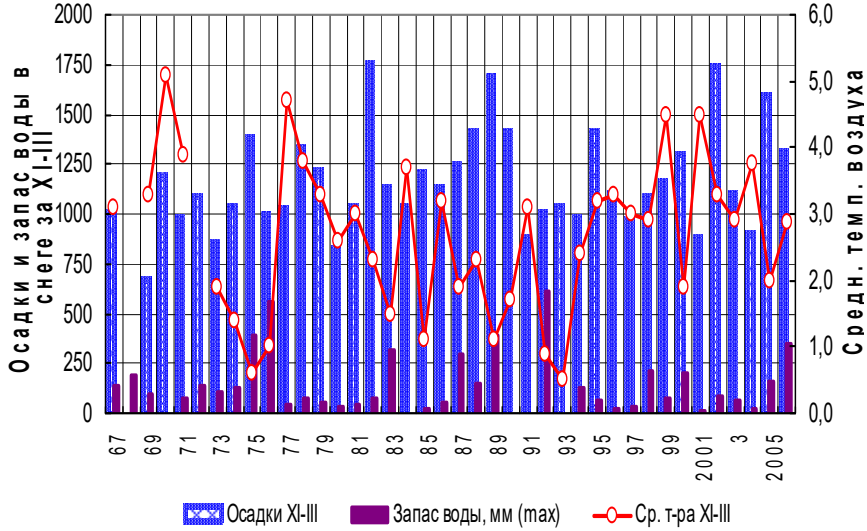


Рисунок 66 - Динамика сезонных сумм осадков (мм слоя), средней температуры воздуха (°С) и максимальных запасов воды в снеге (мм слоя) на ЛГС «Аибга» (по оси X - годы наблюдений)

Установлено, что особенности теплового режима лесных насаждений в зимнее время обусловливают динамику снегонакопления. В течение зимы в них формируются своеобразные режимы прихода и расхода солнечной радиации, а также особый микроклимат. Радиационный баланс за холодный период года в среднем составляет 11,6 ккал/см^2. Под пологом леса за это время расходуется около 6 ккал/см^2.

Основная часть радиационного баланса уходит на нагревание биомассы и теплообмен с воздухом. В связи с этим среднесуточные температуры воздуха в лесу в холодный период на 0,3-1,7^0 выше, чем на вырубке, а суточные максимумы температуры - выше на 1,1-2,5 ^{0}.

Следовательно, стволы деревьев, пронизывая толщу снегового покрова в лесу, при положительных температурах воздуха играют роль дополнительного источника тепла. В условиях сравнительно мягких зим это способствует более интенсивному уплотнению и таянию снега по всей толще снегового покрова. Снежный покров подтаивает также от поверхности почвы, поскольку в лесу почва, как правило, имеет положительную температуру. За счет теплообмена с нижними слоями почвы при устойчивом снежном покрове расходуется ежемесячно 200-250 кал/см^2.

Таким образом, в горных условиях лес оказывает важное воздействие на динамику снегонакопления и снеготаяния. Влияние орографии на динамику накопления и расходования снегозапасов в горных условиях связано с влиянием высоты на осадки. Проведение параллельных снегосъемок на разных высотных отметках позволил определить плювиометрический градиент (изменение с абсолютной высотой) для запасов воды в снежном покрове. Он оказался равным 91 мм на 100 м (в период максимума снегонакопления). Высота снежного покрова увеличивается в среднем на 16 см при подъеме на каждые 100 м. При этом анализ среднемноголетних данных по близлежащим метеостанциям сети Роскомгидромета показал, что плювиометрический градиент неодинаков на разных высотах - он изменяется от 30 мм/на 100 м (на высотах до 1000 м над ур.м.) до 188 мм/100м (выше 1500 м. над ур.м.).

Влияние высоты местности на процессы снегонакопления проявляется как из-за понижения температуры воздуха при подъеме, так и вследствие увеличения общего количества осадков с высотой. Представляет интерес сопоставление всех трех факторов одновременно. Отношение максимальных снегозапасов за зиму к сумме осадков за холодный период (XI-III) можно назвать ***коэффициентом снегонакопления.*** На рис.67 приведена зависимость среднемноголетних коэффициентов снегонакопления (по данным метеостанций сети Росгидромета) от средней температуры воздуха за XI-III. График связи имеет нелинейный вид и показывает, какая часть зимних осадков аккумулируется снежным покровом в зависимости от температурных условий зимы.

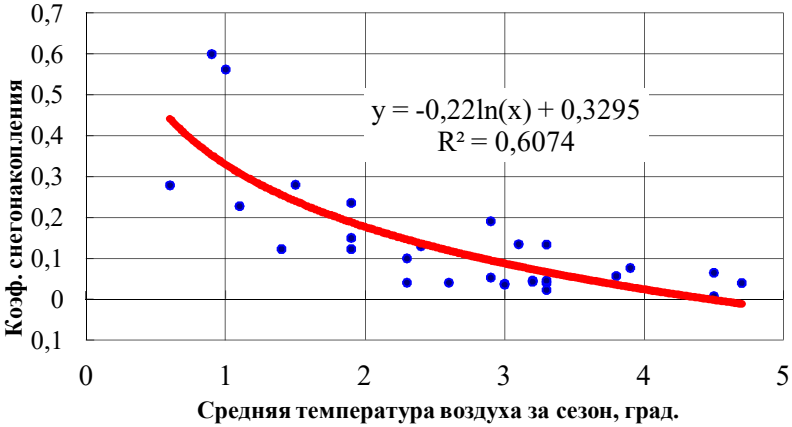


Рисунок 67 -. Зависимость коэффициента снегонакопления от средней за сезон температуры воздуха в среднегорной зоне Сочинского Причерноморья.

Таким образом, для южного макросклона Северо-Западного Кавказа на высотах более 1200 м над ур. м. более половины зимних осадков (XI-III) аккумулируется в снежном покрове и расходуется в весенне-летний период - с апреля до середины июня. Как показано на рис. 33, максимальные запасы воды в снеге и количество осадков за зимний период практически совпадают по величине на высотах около 1800 м. По данным измерений Росгидромета (за 1986-1989 гг.) получена зависимость коэффициента снегонакопления (представляющего долю осадков в виде снега от общей суммы зимних осадков) от высоты над уровнем моря в бассейне р. Мзымты (рис. 68). В Сочинском Причерноморье для основных рек (Мзымта, Шахе и др.) высокогорья составляют более половины площади их бассейнов. Так, для р. Шахе высотная зона 1000-3000 м над ур.м. равна 319 км^2 (58% площади водосбора), для р. Сочи - 130 км^2 (44%), для р. Мзымты - 355 км^2 (40%). На высокогорных частях бассейнов рек 60-80% и более от суммы осадков, выпадающих в холодный период года, зарегулированы снежным покровом. Следствием расходования аккумулированных в зимнее время осадков является то, что

на реках, имеющих высокогорья, объем стока в апреле - мае достигает 40-44 % от всего годового стока, а вариация годового стока в многолетнем разрезе наименьшая - 0,16-0,21.

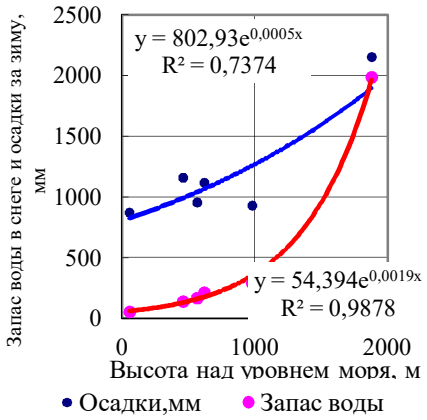


Рисунок 68 . Связь между высотой и запасами воды в снеге за зиму в бассейне р. Мзымты.

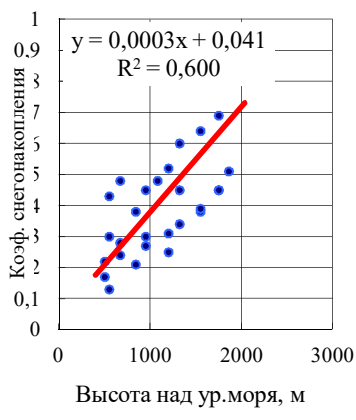


Рисунок 69 - Связь между коэффициентом снегонакопления и высотой над уровнем моря (по данным Росгидромета за 1987-1989 гг.)

По данным ЛГС «Аибга» установлено существенные различия динамика накопления снегозапасов и их расходования на открытых местах и под пологом нетронутых насаждений. Так, зависимость между средними высотами снежного покрова на вырубке и под пологом леса по данным маршрутных съемок выглядит следующим образом:

$$\mathbf{h_л = 0,83 \bullet h_в - 13}, \qquad r = 0,95 \pm 0,02 \qquad (110)$$

где $h_л$ - высота снега в лесу, см; $h_в$ - высота снега на вырубке, см;

r - коэффициент корреляции.

В среднем на открытом месте снежный покров выше, чем под пологом леса, в 1,3-1,8 раза. Плотность свежевыпавшего снега (при величинах около 0,2 г/см^3) в лесу на 25 % больше, чем на полянах. С увеличением плотности до 0,5 г/см^3 разница эта практически исчезает:

$$P_л = 0,88 \bullet P_в + 0,06 , \qquad r = 0,91 \pm 0,03 \qquad (111)$$

Более интенсивное уплотнение свежевыпавшего снега в лесу происходит как за счет более высокой температуры снежного покрова

под пологом леса, так и за счет опадения снега из крон деревьев при снегопадах. В начале снеготаяния запасы воды в снеге на вырубках (Sв) незначительно отличаются от запасов под пологом леса (Sл):

$$S_л = 0,93 \bullet S_в - 12 \qquad r = 0,94 \pm 0,02 \qquad (112)$$

При интенсивном снеготаянии во второй половине зимы разница во влагозапасах больше в 1,8-2,0 раза:

$$S_л = 0,80 \bullet S_в - 49 \qquad r = 0,92 \pm 0,02 \qquad (113)$$

В молодняках 10-летнего возраста различия в режиме снеготаяния на вырубках и в лесу сглаживаются. Наиболее длительный схода снега в окнах котловинной рубки.

В связи с особенностями теплового режима снежного покрова в лесу, а также перехвата части твердых осадков кронами деревьев, на вырубке и в котловинах снег имеет большую высоту и меньшую плотность, чем под пологом леса. Указанные особенности снегонакопления существенно влияют на запасы воды, аккумулируемые снежным покровом на вырубке и под пологом леса. Так, в начале снегонакопления (для свежевыпавшего снега) разница в запасах воды невелика - на 10-20% выше на вырубке, чем в лесу:

$$W_л = 0,93 \bullet W_в - 12, \qquad r = 0,94 \pm 0,02 \qquad (114)$$

Здесь: $W_л$ - запас воды в снеге в лесу в мм, а $W_в$ - запас воды в снежном покрове на сплошной вырубке, мм.

Со второй половины зимы, когда наблюдается интенсивное снеготаяние (после максимума влагозапасов), разница между вырубкой и лесом значительно больше:

$$W_л = 0,80 \bullet W_в - 49, \qquad r = 0,92 \pm 0,03 \qquad (115)$$

В начале снеготаяния запасы воды в снеге на вырубке в 1,4 раза, а к концу снеготаяния - в 1,8-2,0 раза больше, чем в лесу. В лесу снег сходит на 5-8 дней раньше, чем на вырубках. С возрастом на площадях рубок (в 18-летних молодняках) максимумы высоты снега отмечены: на сплошной вырубке - 99 см; в окнах котловинной рубки - 91 см; на площади добровольно-выборочной рубки - 70 см; на контроле - 71 см (при запасе воды в снеге соответственно 210, 201, 154 и 153 мм).

Под пологом леса снег тает более равномерно, а интенсивность

снеготаяния здесь в начале весны в лесу выше, чем на вырубках, а к концу разрушения снегового покрова - ниже почти в 2 раза. Расчеты показывают, что при больших снегозапасах весеннее снеготаяние на площадях вырубок может давать до 30 мм осадков ежесуточно в течение 20 дней и более. Такое интенсивное и продолжительное поступление воды в речную сеть создает условия для формирования весеннего половодья и бурного развития эрозионных процессов в бассейнах рек и схода лавин.

Скорость лавин достигает 30-100 м/с, объемы вовлекаемого при этом снега — от сотен до миллионов кубических метров. Высота снежных конусов в зоне, остановки лавины от 5 до 20 м, их плотность 0.6 т/м^3 и более. Отличительной особенностью зимних условий является образование снежных лавин, которые наблюдаются с января по апрель, их катастрофический рост в объеме и ускорении движения; скорость движения может достигнуть 300-350 км/час. Поэтому возникает необходимость для создания противолавинных сооружений. Первое из них - это лес. Именно лес не только спасал человека от лавин, он же подсказал идею снегоудерживающих противолавинных сооружений. В лесу лавины не образуются — деревья разбивают снежный покров на отдельные участки и давление сползающего по склону снега принимают на себя. В том случае, когда зона зарождения лежит выше верхней границы леса, могут помочь только противолавинные сооружения.

7.6 Геоморфологические факторы и подстилающая поверхность

Наблюдения за поверхностным стоком, проведенные на 3-х стоковых площадках с уклоном 22…35^0, показали, что сток на поверхности почвы под пологом леса очень мал: за вегетационный период 1969 г. его сумма составила 0,6 мм, а коэффициент стока - 0,001. Незначительные величины поверхностного стока обусловливают почти полное отсутствие эрозии под пологом девственных буковых насаждений.

Как было установлено опытами, динамика впитывания определяется величиной предшествующего увлажнения почвы. При макси-

мальном увлажнении коэффициент фильтрации в почво-подстилающие грунты на ЛГС “Аибга” близок к 0,03 мм/мин. Просочившиеся осадки обеспечивают устойчивое грунтовое питание ручьев 1-го порядка при площади водосборных бассейнов около 20 га (1000…1400 мм/год). Объем по спадовой кривой при полностью насыщенных почво-грунтах составляет 175 мм, а истощение влагозапасов происходит в течение не менее полугода.

Анализ сравнительного изменения стока за период после рубок по отношению к контрольному водосбору показал, что в первый пятилетний период после опытных рубок наблюдалось увеличение стока на всех водосборах: в 1,3 раза - на сплошной вырубке, в 1,5 - на котловинной, в 1,06 раза - на добровольно-выборочной.

В следующий пятилетний период увеличение стока составило: на сплошной вырубке - в 2,8 раза, на площади котловинной рубки - в 1,7 раза. На водосборе с добровольно-выборочной рубкой сток стабилизировался.

Влияние геоморфологии в условиях Черноморского побережья Кавказа в настоящее время исследуется в связи с возникновением катастрофических селевых потоков. Так, в исследованиях А.Ю.Баринова (2009) на примере небольшого водосбора Широкая балка показано влияние интенсивных осадков на возникновение селей.[5] Им построена карта оценки селеопасности Черноморского побережья Кавказа (Рис.77). На ней показан прогноз ширины и уровня селевых потоков над днищем долин, Важной особенностью карты является побассейновая оценка селеопасности. На карте также отражены региональные закономерности развития селевых явлений. Селевые бассейны типизированы по совокупности двух параметров – ширине и высоте подъёма уровня селевого потока над днищем долины. Очень высокой степенью опасности обладает большая часть водотоков 3-4 порядка, к самой низкой степени относятся, в основном, водотоки первого порядка.

[5] Баринов А.Ю. Геоморфологический анализ ливневой селеопасности береговых морфосистем Черноморского побережья Кавказа на примере щели Широкая Балка. // Геоморфология, 2009.

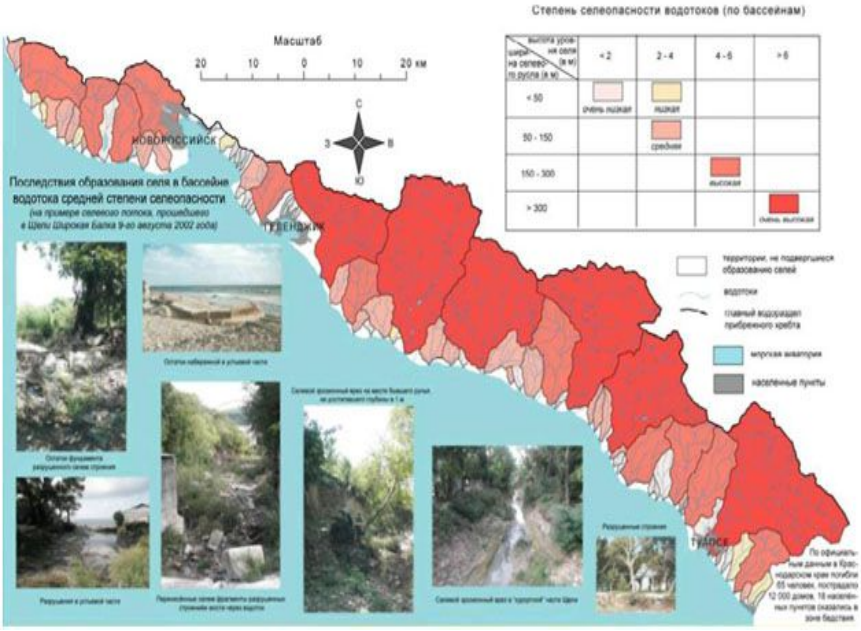


Рисунок 70 - Схема оценки селеопасности Черноморского побережья Кавказа (по материалам А.Ю.Баринова, 2009)

7.7 Анализ материалов по стоку основных рек Черноморского побережья Кавказа по данным Росгидромета

На уровне основных речных систем при изучении экологических функций горных лесов использованы следующие методические особенности. Как известно, достаточно достоверных данных по всем элементам водного баланса для речных систем региона не имеется, поскольку неизвестна ни длительность изменений во времени элементов водного баланса (под влиянием хозяйственных мероприятий), ни распределение их по площади (из-за чрезвычайно сложных взаимодействий факторов среды). Наиболее точными в расчете для речных систем являются величины стока (5%), и значительно менее точны данные

об осадках (даже при наличии достаточно густой сети осадкомерных пунктов) - вследствие влияния орографии на ливневые осадки и случайности их распределения по площади и во времени).

При изучении водоохранной роли леса следует иметь в виду нарушение эргодичности стока вследствие явления цикличности. Под цикличностью стока понимают календарные группировки многоводных и маловодных лет. При наличии неизменных стокообразующих факторов в речных бассейнах, сток в речных бассейнах является детерминированной функцией. Методический прием, примененный нами для этой цели, заключался в подборе пары водосборов, один из которых может служить в качестве контроля для исследуемого водосбора с лесохозяйственной деятельностью. Отнесение стока (в любой фазе) исследуемого бассейна к аналогичному по фазе стоку в бассейне-аналоге при удачном подборе аналоговой реки должно исключить влияние сезонной и годовой цикличности стока. Исходными данными для этой цели служили среднемесячные расходы воды, пересчитанные в дальнейшей обработке в суммарные слои стока за различные периоды, а также сведения о максимумах и минимумах годовых и месячных расходов. Аналогичные данные использованы при анализе осадков по метеостанциям и постам региона.

На основных речных системах в целях определения гидрологической роли лесных экосистем, включающих одну или несколько лесорастительных формаций, проводился сбор и анализ материалов по характеристике лесной растительности и режиму стока по данным лесоустройства и опорной сети наблюдений на реках Росгидромета (рис.71).

По материалам опорной сети Росгидромета были подобраны 12 гидрометрических створов на 9 реках региона с площадями водосборов от 14,6 до 1850 км2 (бассейны рек Белой, Пшехи и Псекупса - на северном макросклоне региона, и рек Мзымты, Псий, Дюрсо, Шахе, Туапсе и Вулана - на южном макросклоне). Для некоторых гидрометрических постов и станций понадобилось удлинение рядов наблюдений - с целью получения однородных данных, корректных для оценки их статистических характеристик.

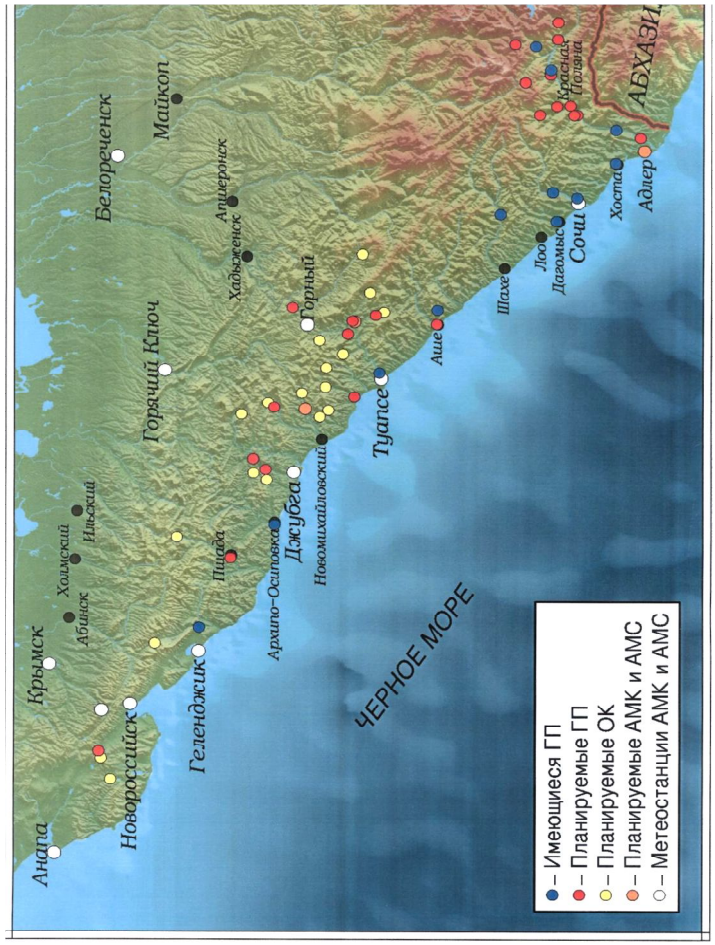


Рисунок 71 – Наблюдательная сеть Росгидромета в пределах Краснодарского края (приведено по данным Краснодарского краевого центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды - КЦГМС)

Для удлинения рядов использованы корреляционные зависимости, как правило, имеющие линейный вид и коэффициенты корреляции от 0,63 до 0,96. Длина рядов наблюдений была увеличена до 57…60 лет. Каждый ряд наблюдений подвергнут статистической обработке для получения статистических характеристик годовых слоев стока. Анало-

гичная работа проведена и по годовым и сезонным суммам осадков по 11 метеостанциям и постам.

Анализ стока проводили в многолетнем разрезе (для гидрологических лет), при этом сток был переведен в относительные величины (модульные коэффициенты, представляющие отношения годовых значений стока к норме стока). Установлено, что цикличность осадков и речного стока для отдельных частей региона носит общий характер, что облегчает задачу определения периода и размеров изменения стока на водосборе под влиянием изменения состояния лесной растительности.

Проведенными исследованиями установлены региональные закономерности изменения режима стока под влиянием лесохозяйственных мероприятий, из которых основное воздействие оказывают рубки главного и промежуточного пользования. Наиболее обоснованные и надежные выводы получены на целевых лесогидрологических стационарах, где на экспериментальных водосборах имеется возможность проследить во времени динамику стока в процессе лесопользования. Однако, суммарный эффект от влияния лесохозяйственных мероприятий на гидрологический режим основных речных систем имеет значительно более сложные закономерности.

При анализе изменения водоохранной роли леса очень важно изучить вопрос о нарушении эргодичности стока вследствие явления цикличности. Под цикличностью стока понимают календарные группировки многоводных и маловодных лет. При наличии неизменных стокообразующих факторов в бассейне сток в речной системе является детерминированной функцией. Выделить составляющую этой функции, зависящую только от состояния лесной растительности, - в этом и состоит задача определения водоохранной роли леса в горных экосистемах. Методический прием, примененный нами для этой цели, заключается в подборе пары водосборов, один из которых может служить в качестве контроля для водосбора с лесохозяйственной деятельностью.

Анализ региональных гидрологических зависимостей проведен на примере модульных коэффициентов годового и минимального

стока и годовых сумм осадков. Установлено, что изменение норм осадков в бассейнах рек определяется высотой местности над уровнем моря и ориентацией хребтов относительно влагонесущих воздушных потоков. Так, по данным 8 метеостанций в бассейне р.Белой увеличение осадков с высотой описывается уравнением:

$$X = 1{,}305 * H + 487, \qquad r = 0{,}980, \qquad (116)$$

где X - норма годовых сумм осадков, в мм; H - высота станций, м.

Для установления периода цикличности годовых характеристик стока произведено выравнивание модульных коэффициентов по методу скользящих средних:

$$K'i = (Ki + 2K(i+1) + K(i+2)) / 4 \qquad (117)$$

где Ki - модульные коэффициенты первичных рядов, K'i - модульные коэффициенты выровненных рядов.

Установлено, что цикличность осадков и речного стока для отдельных частей региона носит общий характер, что облегчает задачу определения периода и размеров изменения стока на водосборе под влиянием изменения лесной растительности. Средний период короткого цикла определен в 5,7…6,1 года, а длинного - около 16 лет.

Анализ хронологических графиков модульных коэффициентов стока и осадков позволил установить наличие асинхронности хронологических изменений Ki по отношению к контрольным водосборам, что объясняется изменением состояния лесной растительности на бассейне. Выявлена достоверная связь модульных коэффициентов стока и осадков на контрольных бассейнах. Например, для бассейна р. Мзымта определена зависимость, которая может быть использована для оценки влияния рубок на сток.:

$$Kн = 1{,}09 * Kx - 0{,}084, \qquad r = 0{,}861 \qquad (118)$$

Для выявления зависимости коэффициентов стока рек от водности года проведен анализ режимных наблюдений р.Белой у пос. Гузерипль. Данный створ принят по соображениям наименьшего влияния здесь побочных факторов на сток, поскольку этот бассейн находится на территории Кавказского госзаповедника. Экспериментальные данные свидетельствуют о наличии очень слабой корреляции между годовыми

коэффициентами стока и модульными коэффициентами:

$$A = 0,76 + 0,111 * \ln Km, \qquad r=0,33 \qquad (119)$$

где А - коэффициенты стока в % от осадков, а Km - модульные коэффициенты стока, т.е. отношение стока за отдельные годы к норме стока, в долях от 1.

Анализ по гипотезе о влиянии водности года на коэффициент относительного стока $K= P_{(Киша)}/P_{(Белая-Гузерипль)}$ показал наличие сравнительно слабой связи величин К от водности года:

$$K = 0,763 - 1,17*10\text{-}4*H_{(Белая-Гузерипль),} \qquad r = -0,470 \qquad (120)$$

Если взять относительную водность года в виде модульных коэффициентов $M = Hi /Ho$ (где Hi - сумма стока за отдельные годы, а Ho - норма годового стока), то получим зависимость:

$$K = 0,764 - 0,188*M, \qquad r= - 0,472 \qquad (121)$$

Подобный анализ выполнен по годовому стоку пары бассейнов: р. Белой-пос.Гузерипль, и р.Шахе-Солох-Аул, т.е. по водосборам, где хозяйственное воздействие на гидрологическую ситуацию было минимальным. Коэффициенты относительного годового стока $K_Б =H_{(Белая-Гузерипль)} /H_{(Шахе-Солох-Аул)}$ зависят от водности года:

$$K_Б= 0,971 - 9,5*10\text{-}5* H_{(Шахе-Солох-Аул),} \qquad r= -0,572 \qquad (122)$$

или $K_ш = 0,984 - 0,211*M_{(Шахе)}$, где $M_{(Шахе)}=Hi / H_o$ r= -0,653 (123)

Полученные результаты анализа доказывают существование зависимости коэффициентов относительного стока от водности года.

Вывод: анализ изменений гидрологического режима рек в зависимости от режима лесопользования, показал, что рубки главного и промежуточного пользования оказывают существенное воздействие на режим стока воды и взвешенных наносов горных рек. При этом изменения в режиме речного стока проявляются после вырубки определенной части бассейна реки. Наиболее уязвимой в гидрологическом отношении частью водосбора является область формирования речного стока, т.е. верховья рек. В связи с этим в истоках рек должен быть введен строго ограниченный режим лесопользования.

Можно сделать вывод о предельных размерах водосборов рек, при которых имеется возможность проследить существенные изменения

режима стока под влиянием рубок - не более 700 км2. Большие по площади бассейны способны нивелировать изменения гидрологического режима. Анализом зависимостей базисного стока р.Псекупс с контрольными бассейнами установлено уменьшение минимального годового стока р. Псекупс в 1,75…1,92 раза (при воздействии рубок) - в сравнении с калибровочным периодом.

В целом, по результатам исследований влияния рубок леса на режим речного стока горных бассейнов можно отметить следующее:

- Анализ изменений гидрологического режима основных рек региона в зависимости от режима лесопользования, показал, что рубки главного и промежуточного пользования оказывают существенное воздействие на режим стока воды и взвешенных наносов горных рек. При этом изменения в режиме речного стока проявляются после вырубки леса в определенной части бассейна реки.

- Наиболее уязвимой в гидрологическом отношении частью водосборов горных рек является область формирования речного стока, т.е. верховья рек. В связи с этим в истоках рек должен быть введен строго ограниченный режим лесопользования.

7.8 Базы данных по стоку рек на основе наблюдений сети Росгидромета

По данным наблюдений сети Росгидромета на реках Причерноморья и среднегорной части бассейна реки Кубани собраны и обработаны базы данных, представляющие суммы стока за месяцы, холодные и теплые периоды и за гидрологические годы. В табл. 39 приведен основной список гидрологических постов на реках Причерноморья и среднегорной части бассейна Кубани. Поскольку основная лесохозяйственная деятельность в регионе проводилась в бассейне реки Белой (левобережного притока р.Кубань), были проанализированы результаты влияния рубок главного пользования именно в этой части региона.

Поскольку данные сведения представляют значительный объем, в отчете приведены основные выводы по результатам их анализа. Далее приведены материалы по рекам, впадающим в Черное море (При-

черноморский район).

Таблица 39 - Перечень гидрологических постов с наблюдениями за расходами воды (средние расходы воды за месяцы)

Реки Причерноморья		Реки среднегорной части бассейна Кубани	
Гидрологический пост	Период (годы)	Гидрологический пост	Период (годы)
1	2	3	4
Р.Хоста-пос.Хоста	1945-2008	Р.Белая – пос.Гузерипль	1954-2008
Р.Туапсе-г.Туапсе	1944-2008	Р.Белая – пос. Каменномостский	1935-2008
Р.Сочи-г.Сочи	1944-2008	Р.Белая – х.Кирпичный	1955-2008
Р.Сочи-с.Пластунка	1926-2008	Р.Дах – ст-ца Даховская	1953-2008
Р.Псий-с.Тух-Аул	1946-2008	Р. Киша – Лагерная Караулка	1955-2008
Р.Псезуапсе-с.Татьяновка	1955-1975	Р. Курджипс- х.Красно-Октябрьский	1929-2008
Р.Мзымта-р.п.Красная Поляна	1946-2008	Р.Курджипс – ст-ца Нижегородская	1957-2008
Р.Гастогай-ст.Гастогаевская	1949-2008	Р.Пшеха – г.Апшеронск	1937-2008
Р.Вулан-с.Архипо-Осиповка	1948-2008	Р.Пшеха – с.Черниговское	1928-2008
Р.Аше-с.Аше	1955-2008	Р. Псекупс – г. Горячий Ключ	1935-2008

По материалам базы данных по стоку рек региона определены средние многолетние суммы стока в мм слоя за месяцы. Для характеристики внутригодового усредненного стока построены графики, на которых даны нормы месячного стока каждой реки (на графиках показаны «Средн) и их максимальные и минимальные значения за многолетний цикл наблюдений (соответственно «Макс» и «Миним»). Так, для реки Мзымты у пос. Красная Поляна установлено, что основной её сток проходит в летний период, что объясняется особенностями её питания (летним таянием снегов и ледников в высокогорьях) (рис. 70)

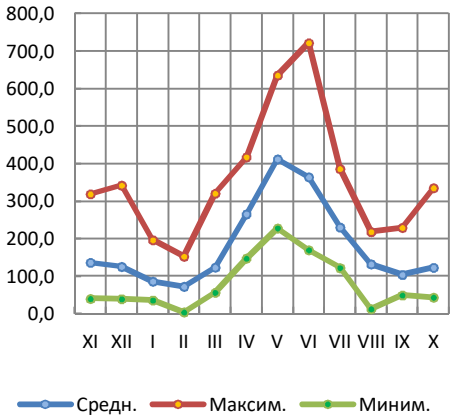


Рисунок 72 – Внутригодовое распределение стока р. Мзымты у пос.Красная Поляна

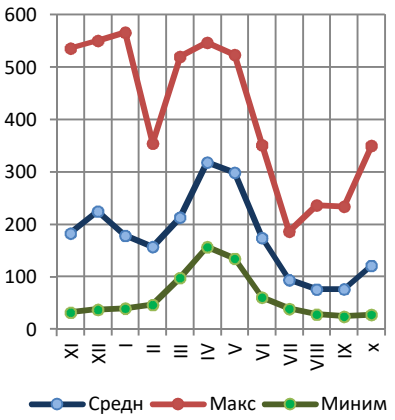


Рисунок 73 - Внутригодовое распределение стока р. Шахе у с. Солох-Аул, мм слоя

Вторая река по водности – р.Шахе- отличается более выровненным графиком внутригодового распределения стока, хотя здесь также сохраняется преобладание весенне-летнего стока над стоком холодного периода. И здесь объяснение находится в особенностях питания реки, имеющей довольно значительную долю высоких гор в бассейне, где имеются условия накопления зимних осадков. (рис. 80).

Реки Сочи и Хоста имеют значительно более выровненные графики месячных сумм стока с небольшим преобладанием стока в зимний период и существенным максимальным стоком, что объясняется особенностями ливнево-дождевого питания этих рек (рис. 81 и 82) при значительно меньших площадях водосборов.

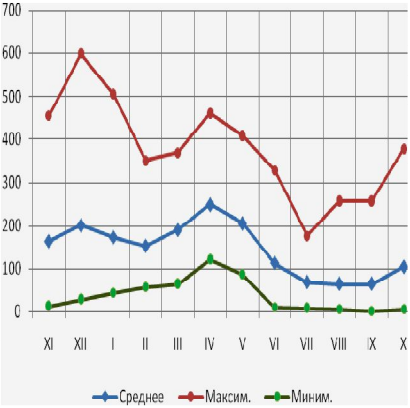


Рисунок 74- Многолетнее распределение стока р. Сочи у г.Сочи, мм слоя

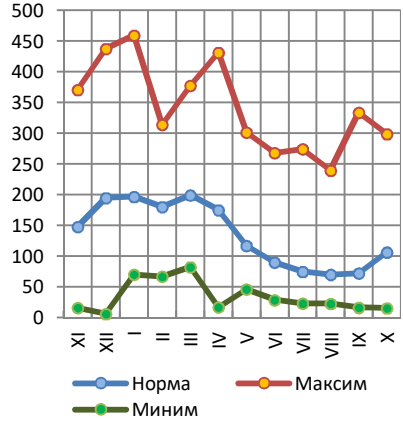


Рисунок 75 - Внутригодовой ход месячных сумм стока р.Хосты у пос.Хоста, мм слоя

.

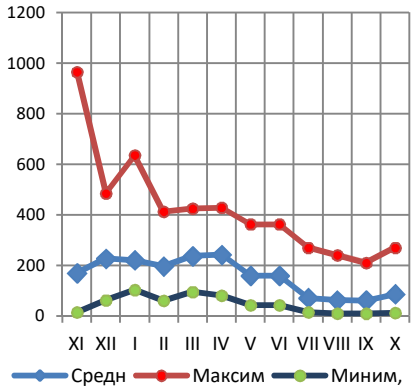


Рисунок 76 - Внутригодовой ход стока р. Псий у с. Тух-Аул

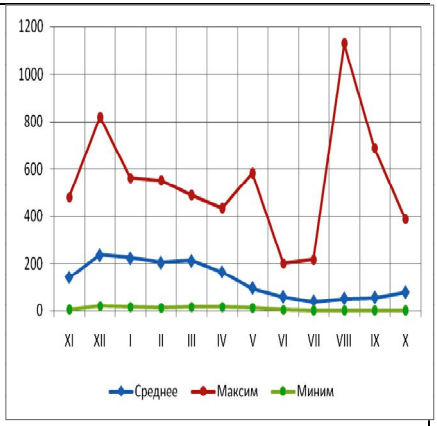


Рисунок 77 - Многолетнее распределение стока р,Куапсе у с. Мамедова Щель

Третья группа рек (точнее – речек и малых водотоков), впадающих или в основную реку, или непосредственно в море – это реки с во-

досборами не более 20 км^2. Представителями этих рек в приморском регионе являются р. Псий (приток р.Шахе) и р.Куапсе (впадает в море). На графиках внутригодового распределения стока (рис.83 и 84) показаны небольшие месячные суммы стока в холодный период (не более 200 мм) и ещё меньший сток в теплое время – в 2-4 раза меньше.

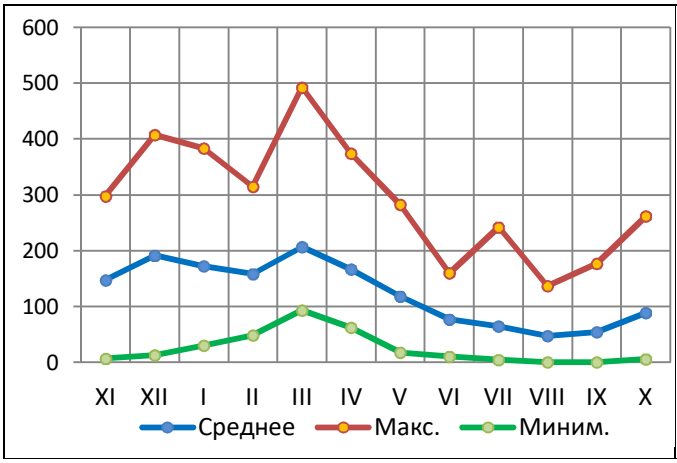


Рисунок 78 - Многолетнее внутригодовое распределение стока на 4-ом (контрольном) ручье ЛГС «Аибга» (F=20 га)

Обращает на себя внимание резкие скачки и большие величины максимального стока, обусловленные ливневыми осадками, выпадающими в любое время года. Похожий график внутригодового распределения стока имеет и ручей с площадью водосбора 20 га на ЛГС «Аибга», т.е. сток холодного периода значительно превышает весенне-летний.

Для анализа многолетнего хода речного стока построены хронологические графики сезонных и годовых сумм стока (в мм слоя) для всех рассмотренных выше гидростворов (рис. 86-93). Как видно из этих материалов, некоторые реки имеют тренд уменьшения стока, другие – небольшое увеличение, Были рассчитаны годовые модули стока ($K= Q_i/Q_o$) с целью обобщения тенденций изменения стока для приморских рек, Результаты приведены в табл. 40.

Таблица 40 – Модульные коэффициенты годового стока рек Причерноморского района за период наблюдений

Гидрологические годы	Шахе Солох-Аул	Мзымта - Красная Поляна	Мзымта Пос.Кепш	Мзымта Казачий Брод	Сочи Г.Сочи	Хоста Хоста	Псий Тух-Аул	Куапсе-Мамедова Щель	Средние величины
1	2	3	4		6	7	8	9	10
1926-27	0,657	0,874	0,871	-	-	-	-	-	0,801
1927-28	0,994	0,885	0,886	-	-	-	-	-	0,922
1928-29	1,043	0,912	0,907	-	-	-	-	-	0,954
1929-30	0,877	0,610	0,589	-	-	-	-	-	0,692
1930-31	0,894	1,054	1,070	-	-	-	-	-	1,006
1931-32	0,760	1,118	1,134	-	-	-	-	-	1,004
1932-33	0,862	0,901	0,896	-	-	-	-	-	0,886
1933-34	0,918	0,923	0,989	-	-	-	-	-	0,943
1934-35	1,119	0,746	0,742	-	-	-	-	-	0,869
1935-36	0,975	0,880	0,873	-	-	0,785	-	-	0,878
1936-37	1,331	0,999	1,016	-	-	0,943	-	-	1,072
1937-38	1,549	1,206	1,236	-	-	1,232	-	-	1,306
1938-39	1,111	1,054	1,065	-	-	0,946	-	-	1,044
1939-40	1,182	1,283	1,320	-	-	1,165	-	-	1,238
1940-41	1,393	1,537	1,599	-	-	1,021	-	-	1,388
1941-42	1,187	1,062	1,080	-	-	0,986	-	-	1,079
1942-43	1,209	0,961	0,967	-	-	1,067	-	-	1,051
1943-44	0,851	1,221	1,199	-	-	1,074	-	-	1,086
1944-45	1,205	0,940	0,938	-	1,159	1,075	-	-	1,063
1945-46	0,712	1,074	1,089	-	1,086	0,823	1,399	1,486	1,096
1946-47	0,749	0,823	0,862	-	0,861	0,776	0,822	0,962	0,836
1947-48	0,808	1,138	1,232	-	1,145	0,928	1,160	0,935	1,049
1948-49	1,152	0,759	0,798	-	0,783	0,705	0,719	0,610	0,789
1949-50	1,209	0,737	0,816	-	0,891	0,965	0,854	0,674	0,878
1950-51	1,020	0,766	0,801	-	1,037	0,870	0,759	0,501	0,822
1951-52	0,728	1,087	1,172	-	1,331	1,157	1,115	0,928	1,074
1952-53	1,264	1,122	1,192	-	1,192	1,054	1,202	0,875	1,129
1953-54	0,835	0,944	0,998	-	1,096	1,148	1,059	0,863	0,992
1954-55	1,313	0,797	0,807	-	0,809	0,674	0,613	0,463	0,782
1955-56	0,864	1,216	1,238	-	1,248	1,206	1,328	1,074	1,168
1956-57	0,990	0,974	0,795	-	0,707	0,602	0,769	0,643	0,783
1957-58	0,748	1,266	1,093	-	1,237	1,346	1,790	1,283	1,252
1958-59	1,174	0,896	0,886	-	0,810	0,737	0,878	1,054	0,919
1959-60	1,244	1,102	1,080	-	1,080	1,005	1,092	1,397	1,143
1960-61	0,896	0,910	0,886	-	0,869	0,853	0,803	0,799	0,859
1961-62	0,811	1,143	1,113	-	1,108	1,110	1,265	1,179	1,104

1	2	3	4		6	7	8	9	10
1962-63	1,041	1,294	1,246	-	1,211	1,155	1,370	1,083	1,200
1963-64	0,738	0,905	0,900	-	1,011	1,105	1,207	1,078	0,992
1964-65	1,235	0,943	0,860	-	0,784	0,737	1,046	0,702	0,901
1965-66	0,637	0,989	0,970	-	1,024	0,989	0,997	1,006	0,945
1966-67	1,028	0,759	0,788	-	0,759	0,706	0,878	1,128	0,864
1967-68	0,895	1,188	-	-	1,088	1,191	1,313	1,660	1,223
1968-69	1,075	0,657	-	-	0,574	0,620	0,631	0,677	0,706
1969-70	0,962	1,042	-	-	0,958	0,799	1,086	1,032	0,980
1970-71	1,063	1,174	-	-	0,811	0,782	0,894	1,213	0,990
1971-72	1,111	1,246	-	-	1,011	1,142	0,982	1,898	1,232
1972-73	1,014	0,904	-	-	0,892	0,917	1,114	1,727	1,095
1973-74	0,933	1,090	-	-	0,912	0,889	1,076	1,227	1,021
1974-75	1,013	1,008	-	-	1,018	1,382	1,085	1,276	1,130
1975-76	0,978	1,027	-	0,927	0,967	1,115	1,203	1,282	1,071
1976-77	0,984	0,953	-	0,997	0,817	1,016	0,876	0,771	0,916
1977-78	1,318	1,066	-	1,248	0,957	1,044	0,769	1,009	1,059
1978-79	0,000	1,065	-	0,997	0,808	0,995	0,662	0,730	0,876
1979-80	1,415	0,978	-	0,968	0,948	1,196	0,817	0,870	1,027
1980-81	1,082	1,216	-	1,291	1,162	1,431	1,233	1,069	1,212
1981-82	0,956	1,318	-	1,233	1,223	1,505	1,206	1,616	1,294
1982-83	1,020	0,921	-	0,951	0,997	1,220	0,778	0,884	0,967
1983-84	0,787	0,835	-	0,786	0,895	1,075	0,724	0,804	0,844
1984-85	0,787	0,926	-	0,988	0,922	1,022	0,971	1,030	0,949
1985-86	1,096	0,800	-	0,774	0,576	0,698	0,649	0,574	0,738
1986-87	1,003	1,324	-	0,997	1,111	0,975	0,773	1,067	1,036
1987-88	1,207	1,015	-	0,977	1,053	1,034	1,026	1,292	1,086
1988-89	0,839	1,309	-	1,317	1,326	1,132	-	1,110	1,172
1989-90	0,832	1,085	-	0,788	0,971	0,956	-	0,000	0,926
1990-91	-	1,059	-	0,883	0,915	0,802	-	1,714	1,075
1991-92	-	1,192	-	0,907		0,771	-	0,000	0,957
1992-93	0,646	1,188	-	0,975	0,774	0,740	-	0,192	0,753
1993-94	-	0,932	-	0,730	0,628	0,685	-	0,520	0,699
1994-95	-	1,297	-	1,220	1,544	1,441	-	1,230	1,346
1995-96	-	1,037	-	0,912	1,026	1,171	-	1,105	1,050
1996-97	0,790	1,277	-	0,934	1,317	0,930	-	1,151	1,067
1997-98	0,811	0,971	-	-	0,810	0,861	-	0,992	0,889
1998-99	0,939	1,134	-	0,625	0,966	0,993	-	0,524	0,864
1999-00	1,006	1,199	-	0,943	1,057	0,910	-	0,556	0,945
2000-01	-	1,111	-	1,152	1,110	0,984	-	0,635	0,998
2001-02	0,906	1,347	-	1,333	1,608	1,326	-	1,184	1,284
2002-03	1,218	-	-	0,941	0,790	0,840	-	0,653	0,888
2003-04	0,657	-	-	1,200	1,056	1,100	-	1,003	1,003
Норма стока, мм	**2083**	**2033**	**1713**	**2214**	**1747**	**1622**	**1841**	**1572,3**	**1853,**

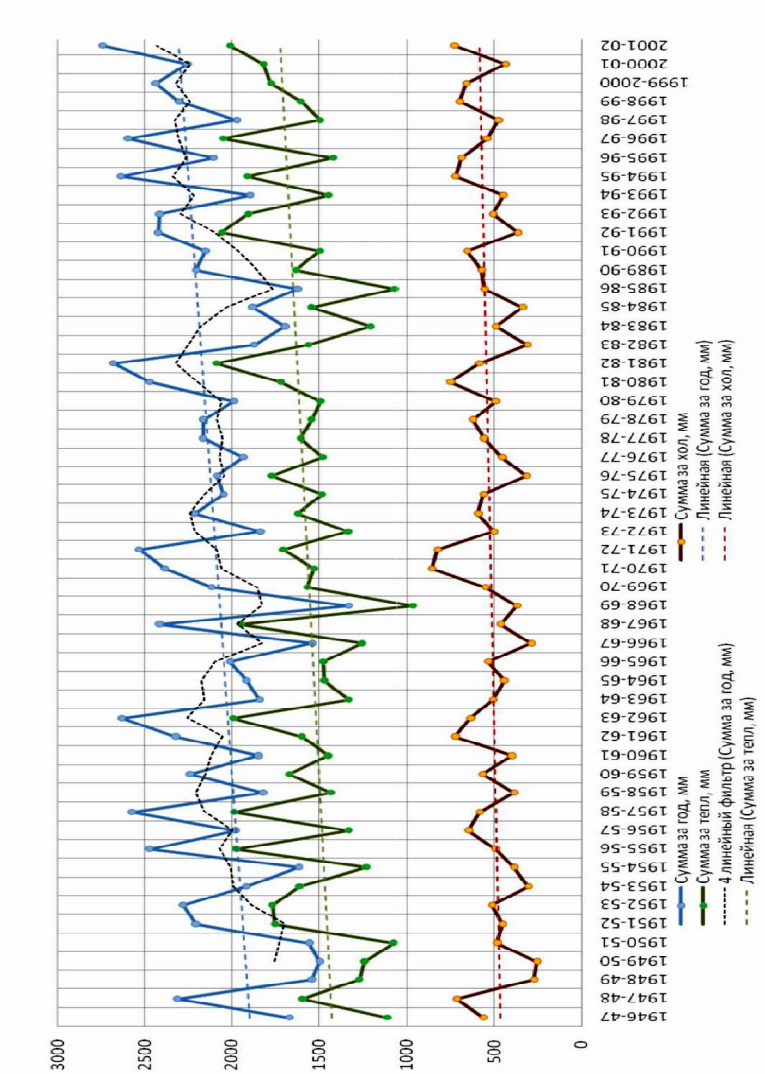


Рисунок 79 – Хронологический график годовых и сезонных сумм стока р.Мзымты у пос. Красная Поляна

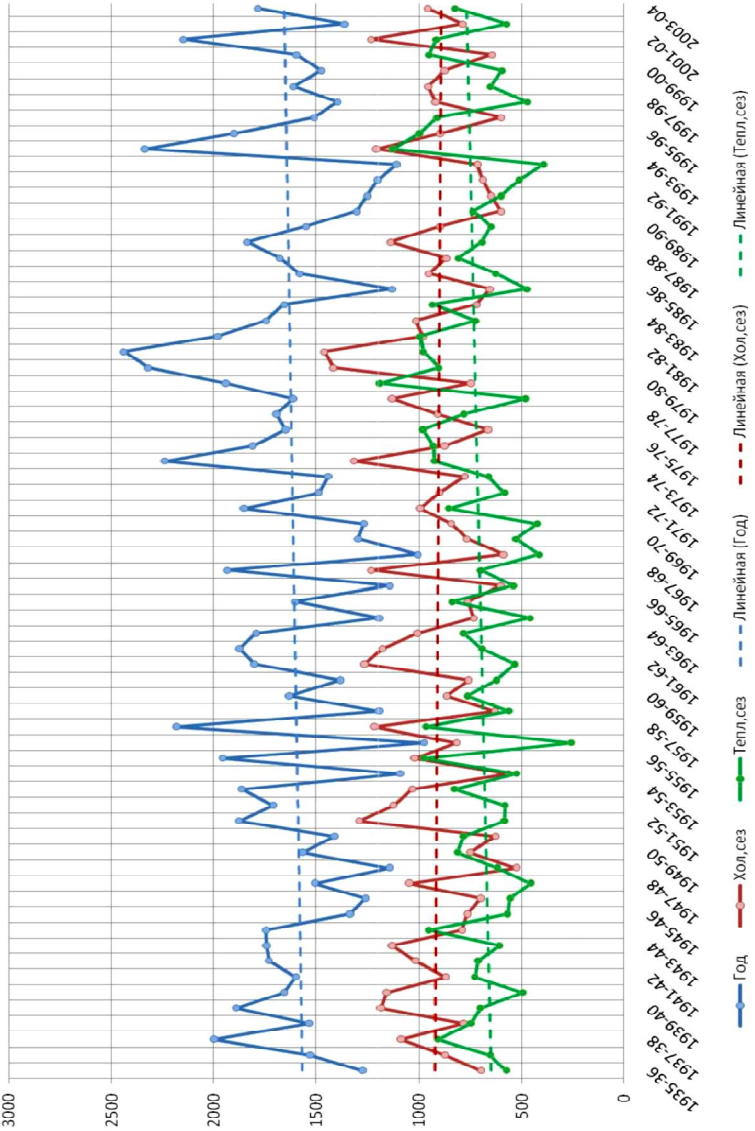


Рисунок 80 – Хронологический график изменения сезонных и годовых сумм стока р.Хосты у пос. Хоста

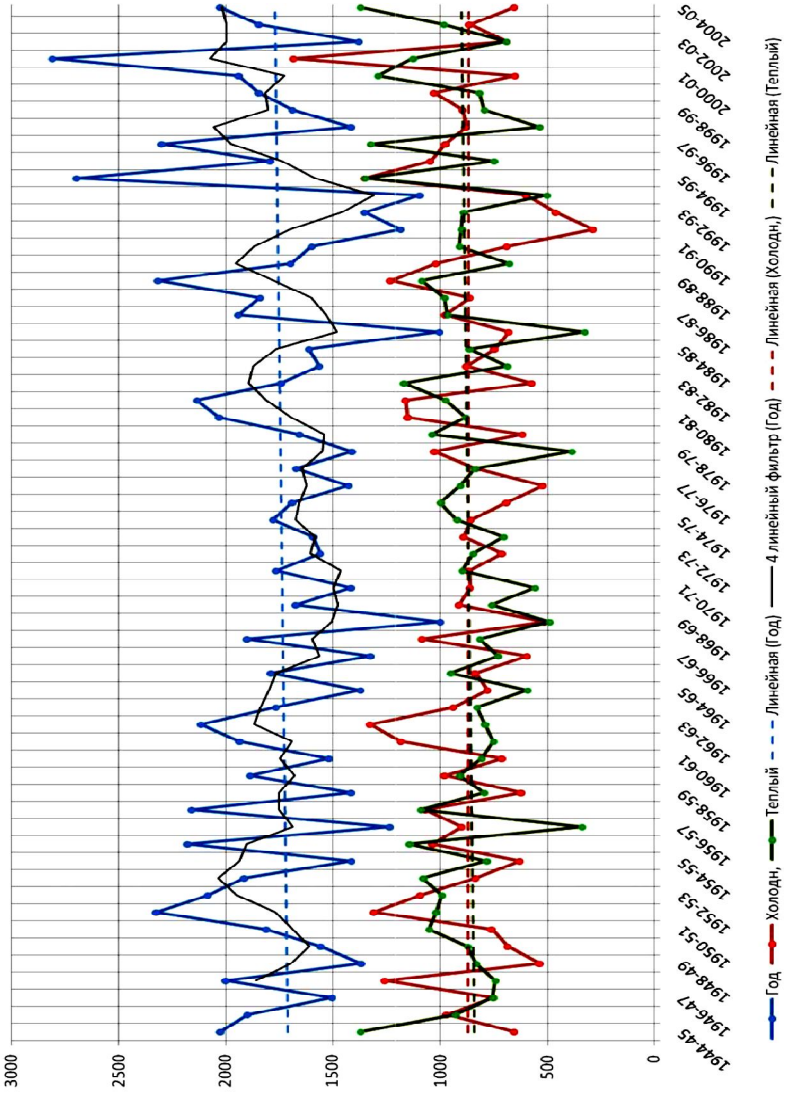


Рисунок 81 – Хронологический график сезонных и годовых сумм стока р.Сочи у г.Сочи, мм слоя

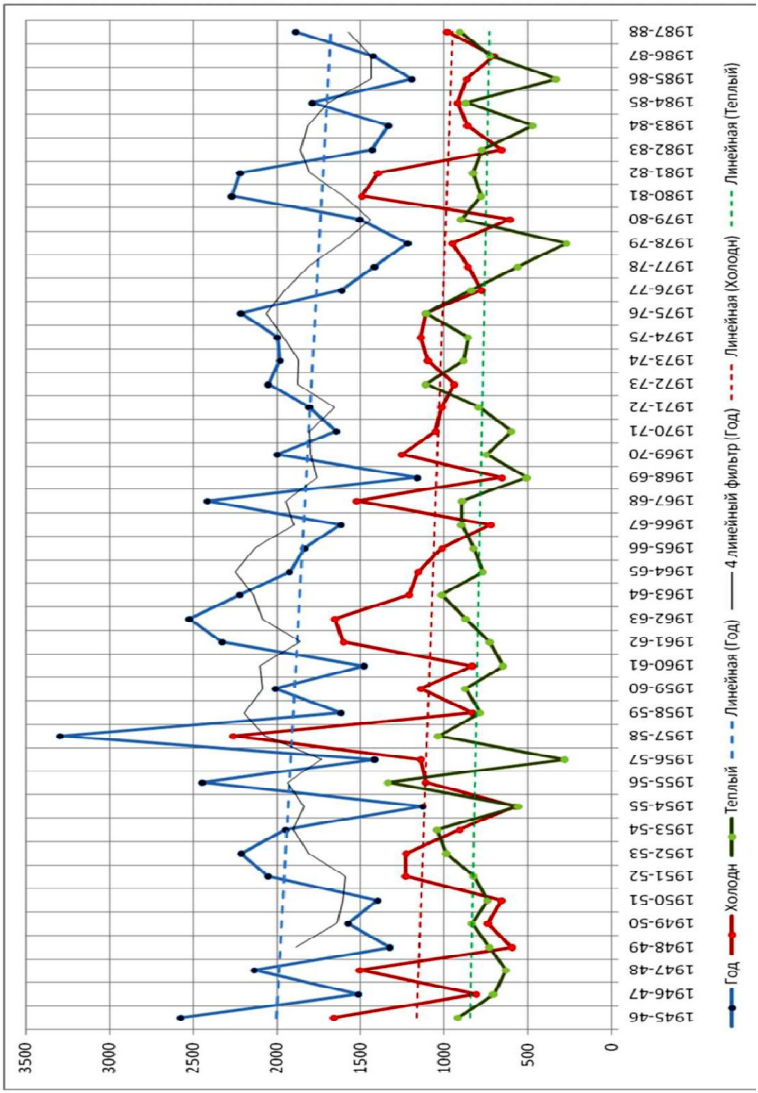


Рисунок 82 – Хронологический график сезонных и годовых сумм стока р.Псий у с. Тух-Аул, мм слоя

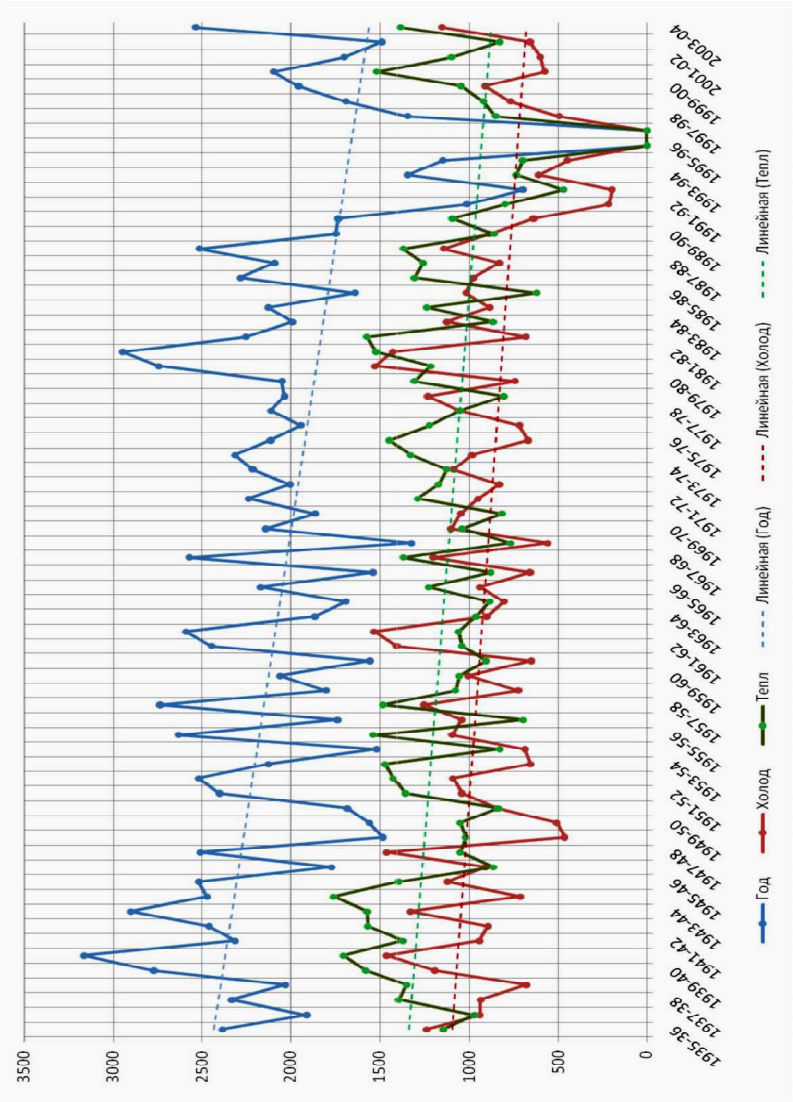


Рисунок 83 – Хронологический график сезонных и годовых сумм стока р. Шахе у с.Солох-Аул, мм слоя

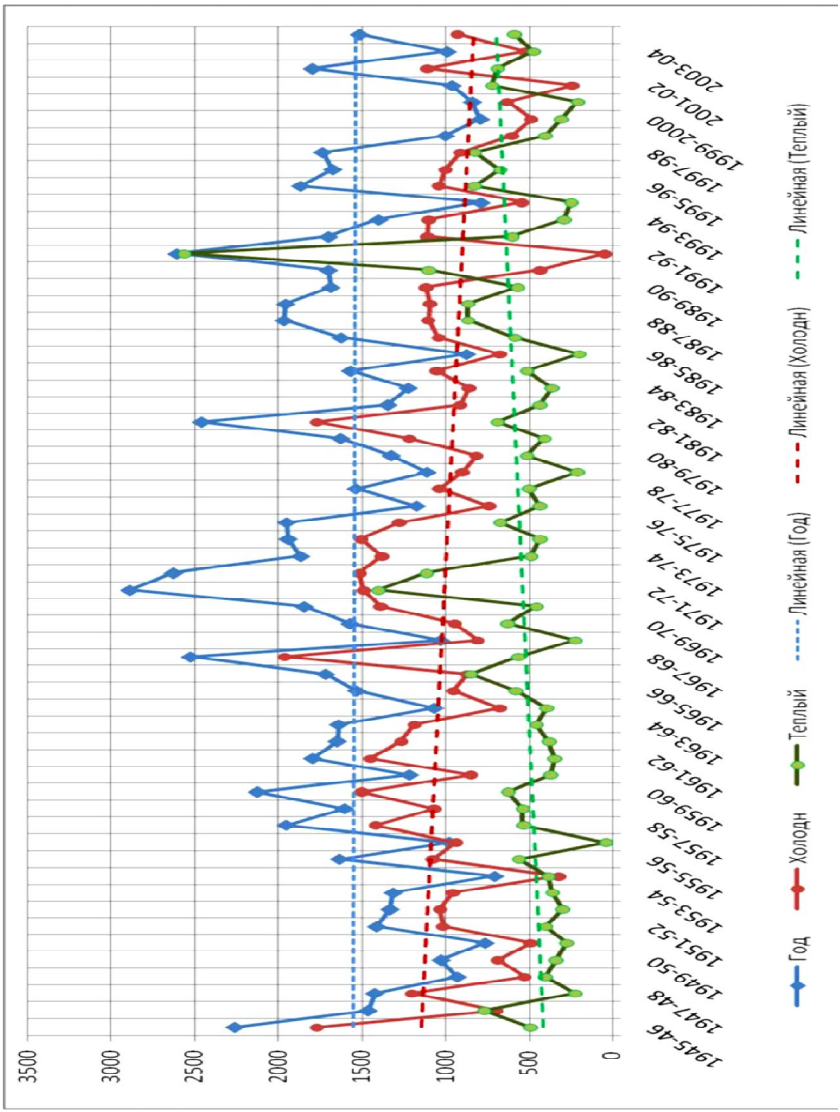


Рисунок 84 – Хронологический график сезонного и годового стока р,Куапсе у с. Мамедова Щель (F=14,6 км^2

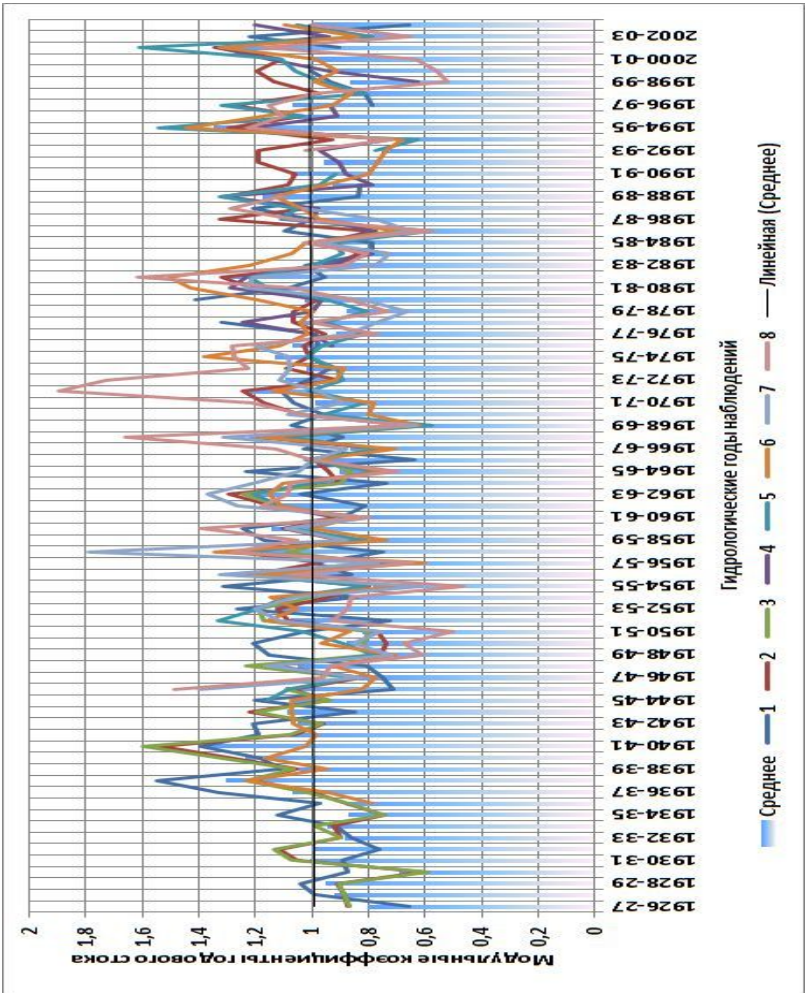


Рисунок 85 – Изменения модульных коэффициентов стока рек Причерноморской группы за многолетний период, (в долях от нормы)
Обозначения: 1 -р.Шахе-с.Солох-Аул; 2 - р.Мзымта - пос.Красная Поляна; 3 - р.Мзымта -пос. Кепш;4 - р.Мзымта - Казачий Брод; 5 - р.Сочи - г.Сочи; 6 - р.Хоста пос Хоста; 7 - р.Псий- Тух-Аул.; 8 -р.Куапсе - Мамедова Щель

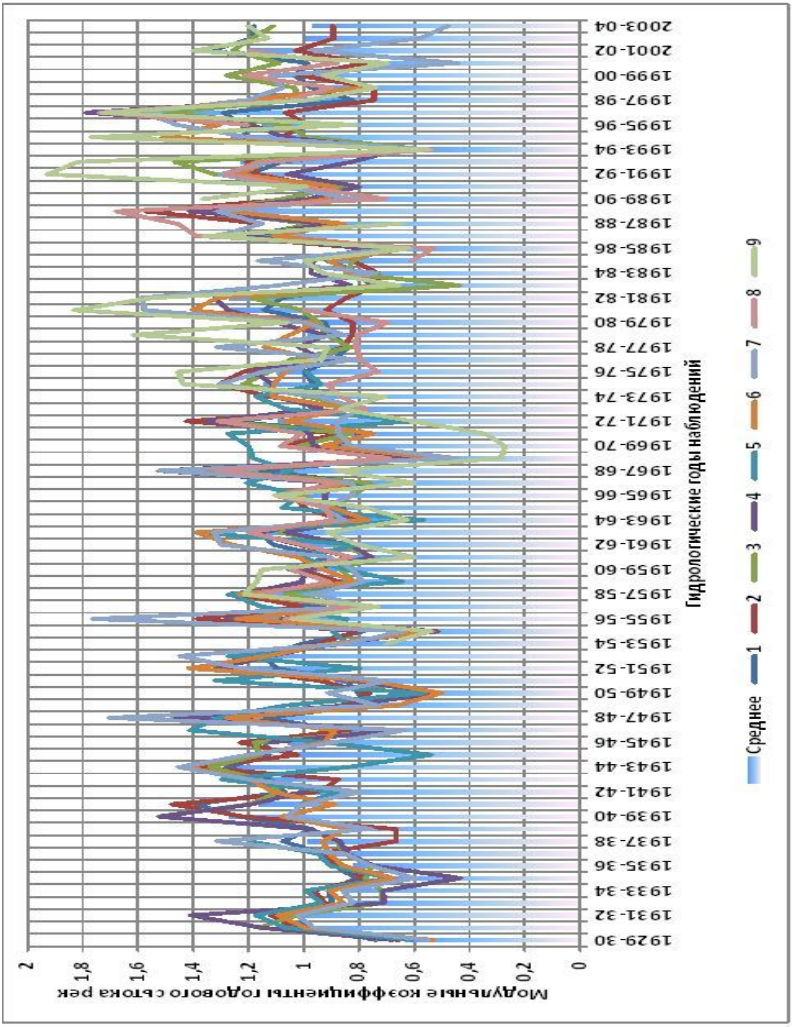


Рисунок 86 -- Модульные коэффициенты стока рек бассейна Кубани

Обозначения:1 - Белая1 - р.Белая у пос.Гузерипль; 2 -Белая2- р.Белая у пос.Каменномостский; 3- Белая3 - р.Белая у хут.Кирпичного; 4 -Курдж1 - р.Курджипс у ст-цы Нижегородской; 5 - Курдж2 - р.Курджипс у пос. Красно_Октябрьский; 6 - Пшеха1 - р.Пшеха у Черниговской; 7 -Пшеха2 - р.Пшеха у г,Апшеронска; 8 - Псекупс - р.Псекупс у г,Горячий Ключ; 9 -Дах - р.Дах у ст-цы Даховской,

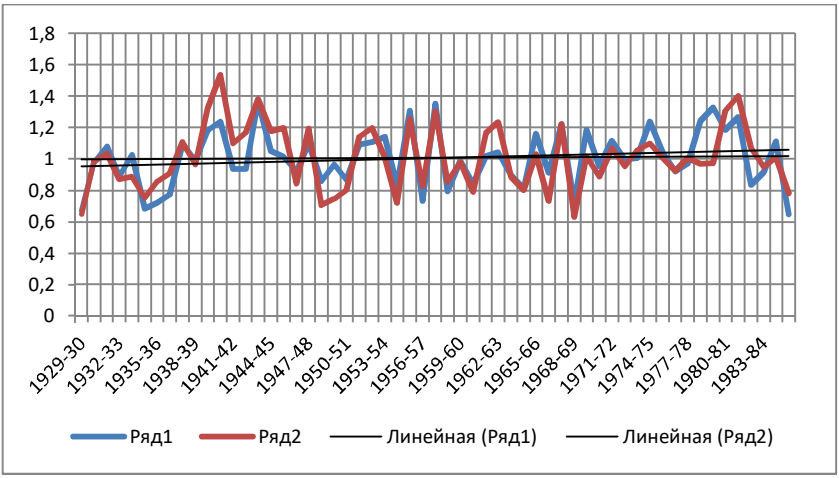


Рисунок 87 – Хронологический график изменения модульных коэффициентов годовых сумм осадков и стока на р.Шахе у с. Солох-Аул

Анализ синхронности изменений годовых сумм осадков и стока основных рек региона показал следующее. На рис. 87 приведен хронологический график модульных коэффициентов осадков и стока на р.Шахе у с.Солох-Аул, который показывает синхронность динамики годовых осадков и стока.

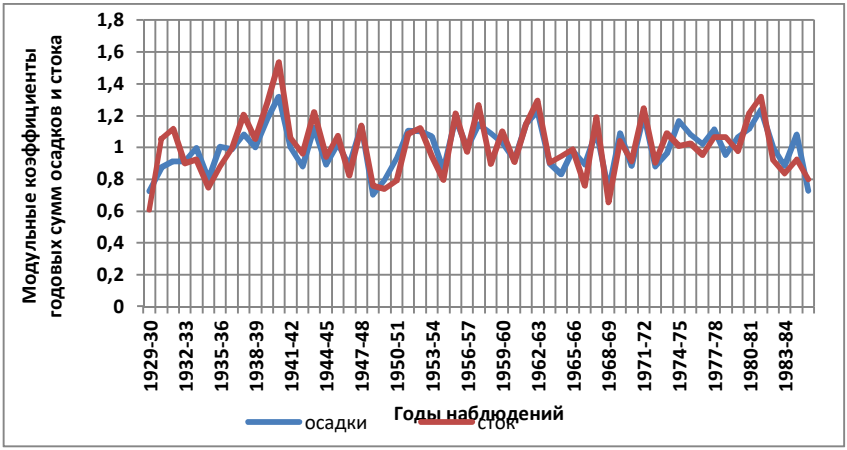


Рисунок 88 – Хронологический график изменения модульных коэффициентов годовых сумм осадков и стока на р.Мзымта у пос. Красная Поляна

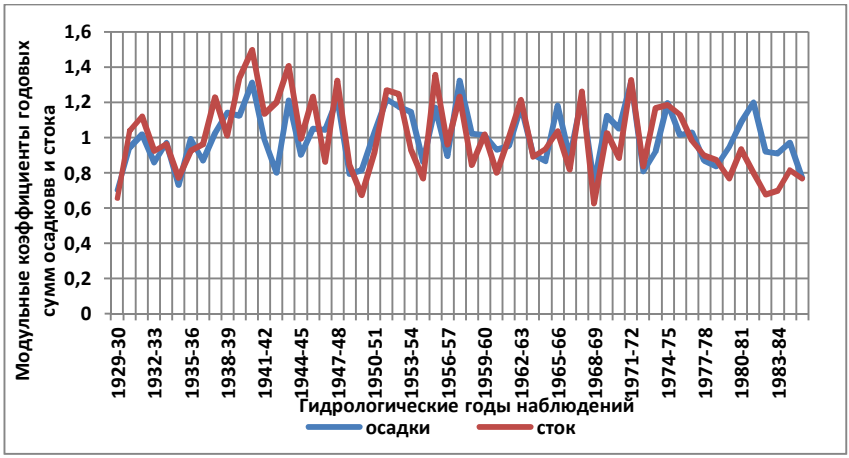


Рисунок 89 – Хронологический график изменения модульных коэффициентов годовых сумм осадков и стока на р.Белой у пос. Каменномостский

Аналогичную картину можно наблюдать также на р.Мзымта у пос. Красная Поляна. (рис. 88), а также на реках Северного макросклона - р.Белая у пос. Каменномосткий (рис.89) и р.Псекупс у г.Горячий Ключ (рис. 90).

Рисунок 90 – Хронологический график изменения модульных коэффициентов годовых сумм осадков и стока на р.Псекупс у г. Горячий Ключ

Приведенные графики связи модульных коэффициентов годовых сумм осадков и годовых сумм стока выше указанных гидрометриче-

ских станций свидетельствуют о достаточно высокой степени синхронности осадков и стока (рис. 91-94).

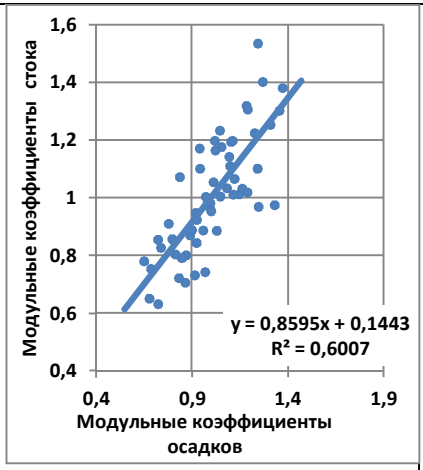


Рисунок 91 –Связь модульных коэффициентов годовых осадков и стока р.Шахе у с.Солох-Аул

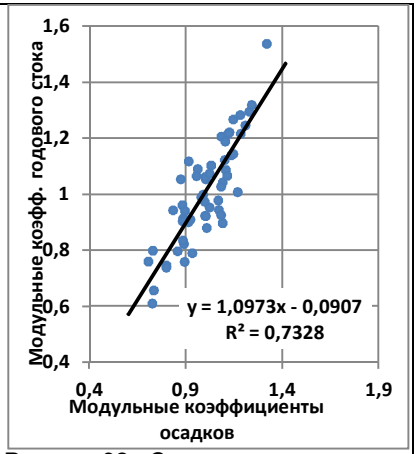


Рисунок 92 –Связь модульных кэффициентов годовых осадков и стока р.Мзымта у пос.Красная Поляна

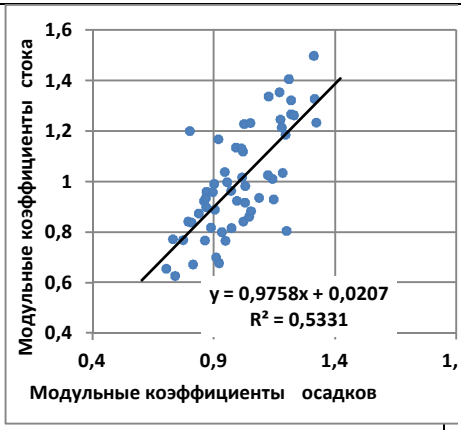


Рисунок 93 –Связь модульных коэффициентов осадков и стока р.Белой у пос. Каменномостский

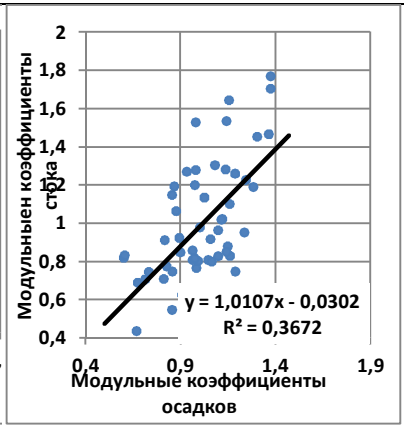


Рисунок 94 –Связь модульных коэффициентов годовых осадков и стока р.Псекупс у г.Горячий Ключ

Так, показатели тесноты связи для них изменяются от 0,73 до 0,53. Исключение представляет собой связь осадков и стока для

р.Псекупс у г.Горячий Ключ, что объясняется интенсивным хозяйственным воздействием на бассейне этой реки.

7.9 Максимальный сток на реках Черноморского побережья Кавказа

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. Сведения о максимальных расходах воды на реках региона приведены в Гидрологических ежегодниках за каждый год. Ниже приведен анализ некоторых гидрометрических постов как южного макросклона (р.Мзымта р.Шахе), так и северного макросклона Северо-Западного Кавказа (реки Псекупс, Курджипс, Пшеха и Дах).

Таблица 40 - Статистические характеристики максимальных расходов воды за гидрологический год на реках Северо-Западного Кавказа

Норма максим. расходов $м^3/с$	Модульные коэффициенты максимумов, обеспеченных на Р %							Коэффициенты	
	3,0 %	5,0 %	10,0 %	50,0 %	90,0 %	95,5 %	97,0 %	вариации C_v%	асимметрии C_s %
1. р. Псекупс - Горячий Ключ (F= 765 км^2)									
492	1,8	1,6	1,4	1,0	0,6	0,5	0,5	33,5	24,7
2. р. Курджипс - пос. Краснооктябрьский (F= 765 км^2)									
133	2,29	1,9	1,4	1,0	0,6	0,5	0,4	450,	106,5
3. р. Курджипс - Нижегородская (F=263 км^2)									
80	2,0	1,9	1,7	0,9	0,5	0,5	0,4	40,9	22,5
4. р. Пшеха - Черниговская (F= 641 км)									
343	2,3	2,1	1,6	0,9	0,5	0,5	0,5	45,0	56,6
5. р. Пшеха - г. Апшеронск (F= 480 км^2)									
553	1,7	1,7	1,5	1,0	0,5	0,3	0,3	36,7	-1,6
6 . р. Дах - ст-ца Даховская									
77	3,1	2,9	2,7	0,8	0,2	0,2	0,1	16,6	37,5
7. р. Мзымта - пос. Красная Поляна (F= 510 км^2)									
175	1,8	1,7	1,6	0,9	0,7	0,6	0,6	32,7	36,7
8. р. Мзымта - пос. Кепш (F= 798 км^2)									
272	2,4	1,9	1,5	0,9	0.6	0,5	0.5	45.6	74.2
9. р. Шахе - с. Солох-Аул F= (423 км^2)									
268	1,7	1,6	1,3	0,9	0,6	0,6	0,6	44,6	177,3

В табл. 40 приведены статистические характеристики максимального годового сток по этим рекам. 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 Черноморского Побережья. При этом важна оценка повторяемости максимального стока рек. Так, анализ максимальных расходов воды по наблюдениям гидрометрическом посту р.Вулан у с. Архипо-Осиповка (с 1955 по 2011 гг.) показал, что годовые максимумы расходов воды здесь колебались от 200 до 1000 м^3/с, а слои стока за максимальные паводки - от 40 мм до 250 мм. В среднем максимумы паводков за 76 лет наблюдений на р.Вулан составили около 300 м^3/с при среднегодовом расходе воды 5,46 м^3/с. (рис. 95)

Аналогичный анализ максимального стока выполнен по наблюдениям в течение 55 лет (с 1926 по 1980 гг.) на гидрометрическом посту р.Шахе у с. Солох-Аул. Здесь средний максимальный годовой расход воды составил 246,0 м3/с, а средний слой воды за максимальный паводок паводок - 132,6 мм. При этом норма расхода воды составляет 27,9 м3/с наибольший из годовых 65,9 м^3/с. (рис.97)

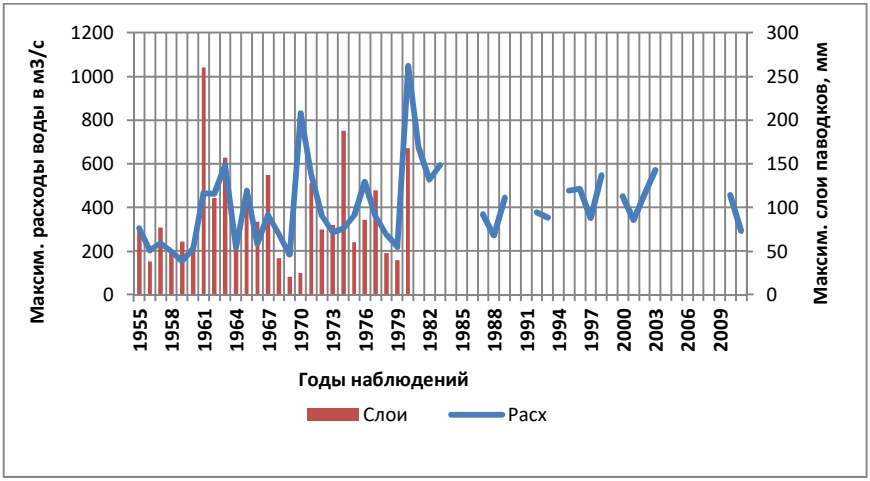


Рисунок 95 -Хронологический график максимальных годовых расходов воды (м^3/с) и слоев стока (мм) р. Вулан у с. Архипо-Осиповка

На рис. 96 показана эмпирическая кривая обеспеченности максимальных годовых расходов воды на этом водомерном посту.

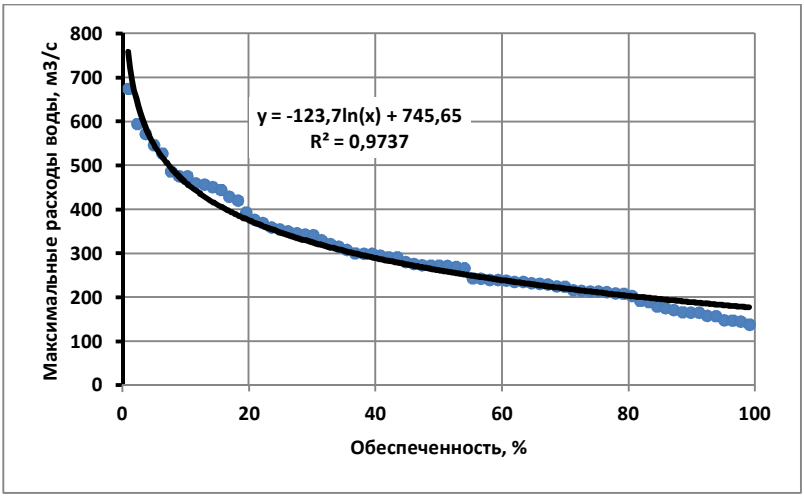


Рисунок 96 - Эмпирическая кривая обеспеченности годовых максимальных расходов воды (м3/с) р.Вулан у с. Архипо-Осиповка

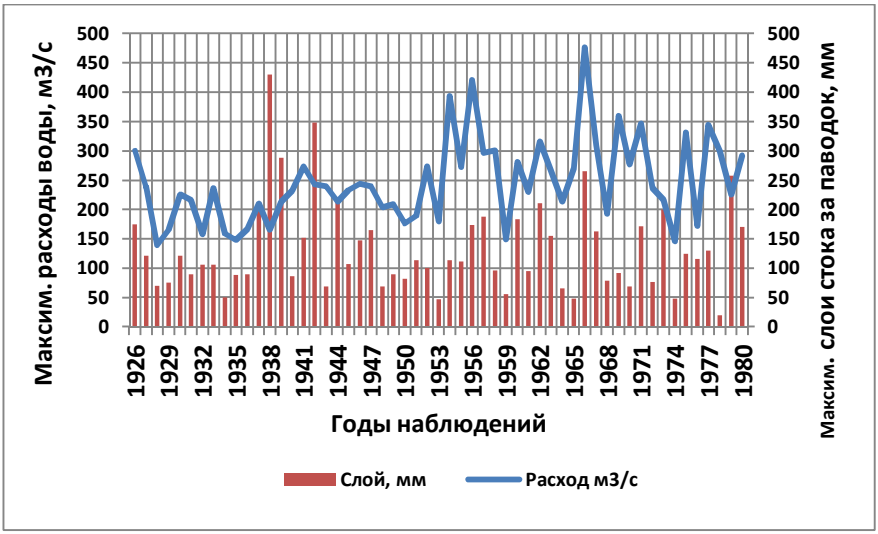


Рисунок 97 - Хронологический график максимальных годовых расходов воды ($м^3/с$) и слоев стока за паводок (мм) р.Шахе у с. Солох-Аул

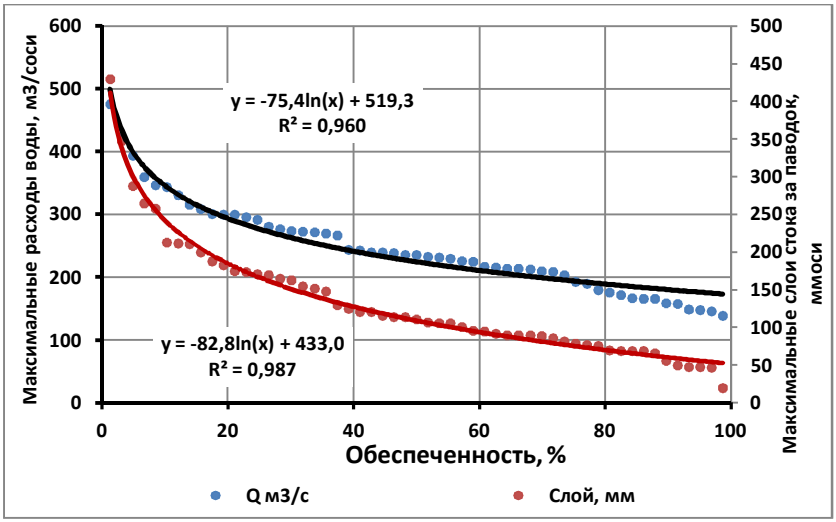


Рисунок 98 - Эмпирическая кривая обеспеченности максимальных расходов воды и слоёв стока за паводок на р.Шахе у с. Солох-Аул

По опубликованным данным[6] приведен анализ паводков, возникших при катастрофическом ливне 25 июня 2015 г. на территории городского округа Сочи. Стихией были затронуты поселки в Адлерском, Хостинском, Центральном и Лазаревском районах. Экстремальное природное явление внутрисезонного характера возникло вдоль 40-километрового извилистого отрезка берега между поселками Леселидзе и Дагомыс. Паводки зафиксированы в городе-курорте Сочи на 11 реках: Шуюк, Шахе, Осохой, Зап. Дагомыс, Бзугу, Буу, Хоста, Кудепста, Херота, Мзымта, Чахцуцыр. 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 гидропостах. На остальных постах

[6] Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Бердников СВ., Яицкая Н.А. Природные катастрофы в Азово-Черноморском бассейне в начале XXI века / Г.Г. Матишов, Д.Г. Матишов, СВ. Бердников, Н.А. Яицкая. - Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. -160 с. - ISBN 978-5-4358-0149-1.

фиксировался уровень подъема воды, который был ниже отметок «неблагоприятное явление» (НЯ) [http://vyww.emercit.com/map]. Как отмечают авторы этой работы, анализ темпов подъема воды на всех реках, впадающих в Чёрное 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.

На наш взгляд, формирование 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, вследствие прохождения на ручьях ЛГС «Горский» в июле 2001 г. смерчевых осадков произошли разрушения гидрометрических сооружений на водосборах №2 и №3. В результате выпадения в течение 2-х часов осадков, превышающих 225 мм, образовались паводки исключительно редкой интенсивности и повторяемости. Так, на водосборе №3 исследования и расчеты максимального паводка по меткам высоких вод в районе расположения гидрометрического створа дали следующие результаты: площадь поперечного сечения водного потока во время паводка была равна 2.72 м2, продольный уклон поверхности водного потока – 0.15 (или 15%, т.е. угол падения 8.5°). Расчет скорости течения произведен по формуле Шези:

$$V = \boldsymbol{C} \times \sqrt{\boldsymbol{R} \times \boldsymbol{I}} \qquad (124)$$

где: V – скорость течения, C – коэффициент Шези, R – гидравлический радиус, I – уклон водного потока.

Коэффициент Шези рассчитан по двум вариантам – с оценкой коэффициента шероховатости по формуле Маннинга (n=0.03-0.04) и по формуле Павловского и равен 29.9 м и 33.8 м соответственно. При R= 0.618 это дает величину скорости потока 10.3 м*с$^{-1}$ и 9.08 м*с$^{с-1}$. Расчетный расход составил: по первому варианту 28.0 м^{3}с$^{-1}$, по второму варианту 24.7 м^{3}с$^{-1}$.

Рисунок 99 – Гидрометрический пост на 3-ем ручье - июнь 2011 года

Рисунок 100 – Расчистка от наносов водослива на 3-ем ручье после паводка 16 июля 2011 года

Рисунок 101 – Разрушение будки и установки самописца уровня воды на 3-ем ручье ЛГС «Горский» после смерчевого паводка 16 июля 2011 года

Рисунок 102 – Восстановленный гидрометрический пост на 3-ем ручье ЛГС «Горский» после смерчевого паводка (июль-август 2011 года)

Таким образом, максимальный паводок на ручьях ЛГС «Горский» 30 июня 2001 г достигал 25-28 $м^3с^{-1}$. Учитывая, что гидрометрические сооружения были запроектированы на расчетный расход 10%-ной обеспеченности (не более 1.5-2.0 $м^3с^{-1}$), становятся ясными причины

значительных разрушений, произведенных прошедшим паводком.

При площади водосбора *F*=24.9 га для 3-го ручья максимальный модуль стока 30 июня 2001 г был равен 110 $м^3с^{-1}$ с 1 $км^2$, т.е. 1100 л $с^{-1}$ с 1 га, в то время как максимальные годовые модули стока в этой части региона ранее не превышали 50 л $с^{-1}$ с 1 га.

7.10 Вероятностная оценка повторяемости максимального стока

Речной сток в теории гидрологии рассматривается как эргодический гармонизируемый процесс с годовым циклом. Нарушение эргодичности речного стока в основном вызывается хозяйственной деятельностью человека, в частности - изменением лесной растительности под влиянием рубок, лесовосстановления и т.д. При изучении гидрологической роли леса следует иметь в виду нарушение эргодичности стока вследствие явления цикличности. Под цикличностью стока понимают календарные группировки многоводных и маловодных лет. При наличии неизменных стокообразующих факторов в речных бассейнах, сток в речных бассейнах является детерминированной функцией.

Задача определения гидрологической роли леса, т.е. влияния лесной растительности на формирование речного стока в горных экосистемах, состоит в выделении составляющей этой функции, зависящей только от наличия и состояния лесной растительности. Проблема влияния лесной растительности (или лесистости) на гидрологический режим склонов и речных бассейнов решается, как правило, путем изучения формирования стока с лесных и необлесенных склонов (водосборов) и его сравнения. При этом следует иметь в виду, что в ряду факторов, влияющих на генезис стока вод, фактор лесной растительности занимает далеко не ведущее значение, что объясняет сложность изучения этого влияния. В зависимости от поставленной практической задачи расчеты при моделировании влияния леса на сток можно вести на определение:

- годовых и сезонных величин стока;
- объемов или максимальных величин дождевых паводков;

- потенциальной возможности образования (генезиса) стока при определенных (или заранее обусловленных) факторов, в том числе - и для экстремальных условий формирования стока (под экстремальными ситуациями понимаются события, которые имеют место 1 раз в 100 лет, т.е. с вероятностью появления 0,01 или 0,99).

Исходя из ранговости речной сети, а также из осреднения по признаку продолжительности периода (цикла) стока, все виды моделей можно условно разделить на следующие группы:

- модели влияния леса на паводковый режим малых (элементарных) водосборов.

- модели влияния лесной растительности на паводковый режим речной сети региона.

- модели влияния леса на сезонный и годовой сток.

Использование математических моделей случайной величины для описания гидрологических процессов основывается на следующих предположениях (Шелутко,1980) :

- Математическое ожидание ряда значений процесса X(t) не зависит от аргумента t.

- Дисперсия этого ряда не зависит от аргумента t.

- Значения процесса X(t) не коррелированны между собой, т.е. внутрирядная корреляция в последовательности значений X(t) отсутствует.

Первое и второе условия, утверждающие постоянство математического ожидания и дисперсии во времени равносильны утверждению о постоянстве климата и прочих физико-географических явлений, формирующих сток, и отрицанию возможности изменения их во времени. Третье условие, означающее независимость членов каждого данного ряда друг от друга, равносильно отрицанию преемственности развития гидрологических процессов. Отсюда, цикличность гидрологических процессов имеет случайный характер, и изучение многолетних колебаний стока может производиться простейшими статистическими методами.

Достаточными характеристиками стока являются: математическое ожидание (или норма) стока, коэффициент вариации, коэффициент асимметрии и закон распределения Ф(x). В настоящее время получила

распространение гипотеза о том, что между смежными значениями стока существует связь, которая может быть определена с помощью коэффициента корреляции. На этой основе для описания стока была предложена математическая модель в виде простой цепи Маркова. Количественно связь смежных значений оценивается коэффициентом корреляции внутрирядной связи. Существует несколько представлений о причинах связи смежных значений стока:

- взаимосвязь смежных значений стока возникает за счет переходящих от года к году внутрибассейновых запасов влаги;

- взаимосвязь смежных значений стока есть следствие взаимосвязи смежных значений факторов, влияющих на сток (осадки, грунтовое питание и т.д.);

- взаимосвязь смежных значений стока есть следствие взаимосвязи смежных значений в рядах испарения.

Внутрирядная связь процессов среднего годового и максимального стока проявляется на большом временном интервале, превышающем 25-30 лет. Для учета ближних и дальних внутрирядных связей стала использоваться математическая модель по схеме сложной цепи Маркова, которой называется случайная последовательность X(t), где для каждого момента времени t существует вероятность любого состояния системы в предшествующие моменты времени. Обычно при использовании этой математической модели принимается, что исследуемый процесс является стационарным и эргодическим (т.е. ряды значений стока подвергаются разложению на динамическую и некоррелированную случайную составляющие). Значения случайной составляющей за имеющийся период наблюдений рассчитываются как последовательность отклонений соответствующих значений стока от их динамических составляющих. Правильное отражение наблюдаемых в природе закономерностей чередования маловодных и многоводных лет - основное требование к модели.

Влияние неравномерности стокообразующих факторов на сток в замыкающем створе зависит от площади водосбора. Чем меньше водосбор, тем меньшую роль играют сглаживающие эффекты, и тем боль-

шее влияние на сток оказывают мелкомасштабные неоднородности. С увеличением размеров площади водосбора влияние мелкомасштабных неоднородностей снижается, однако может существенно повыситься роль крупномасштабных неоднородностей, связанных со значительными различиями гидрофизических характеристик почвы на больших участках водосбора, с изменчивостью водоподачи и др. В этих случаях эквивалентный однородный водосбор может оказаться неэффективным. Следовательно, можно говорить о некоторых оптимальных размерах водосбора, для которых наиболее эффективно использование модели стока с сосредоточенными параметрами.

Оптимальная площадь водосбора зависит от многих факторов и может сильно меняться для различных режимов и фаз водного режима, и устанавливаться в процессе реализации модели. Наиболее распространено выделение сравнительно однородных частных бассейнов. Используют также другой подход к учету неравномерности, основанный на теоретико-вероятностном осреднении, который позволяет увеличивать размеры условно однородных бассейнов. При этом подходе необходимо использовать функции распределения плотности вероятностей входных данных и характеристик водосбора. Из-за многопараметричности моделей, а также ограниченности и низкой точности исходных данных для определения параметров приходится использовать методы оптимизации, которые могут давать неоднородные решения.

Все эти особенности свойственны положительно коррелированным последовательностям, образующим простую цепь Маркова. Из анализа автокорреляционных функций следует, что существенно значимы обычно лишь связи между стоком (осадками) непосредственно смежных лет. Внутрирядные связи в рядах годового стока проявляются в силу многих причин. Невысокая автокоррелированность (около 0,1) обнаружена в рядах годового слоя осадков. Относительно высокая автокоррелированность присуща подземной составляющей стока вследствие естественного регулирования почвогрунтами инфильтровавших осадков, степень которого зависит от водопроницаемости грунтов в бассейне, характера гидрографической сети и т.д. В целом влияние зарегу-

лированности подземного стока на связанность между годовым стоком отдельных лет невелико.

Поверхностная составляющая стока характеризуется большей степенью коррелированности между годовыми значениями, чем в рядах годового слоя осадков (стока). Поскольку зависимость между стоком смежных лет обусловлена рядом причин, а индивидуальная оценка автокорреляции на конкретной реке мало достоверна, определение его представляет большие трудности.

Гидрологические процессы на речном водосборе представляют собой сочетание различных элементов, для каждого из которых характерны процессы разных масштабов - от формирования стока на склоне до транзитного перемещения паводочной волны. Как правило, в гидрологических прогнозах используют детерминистические модели, для которых существует однозначная связь входных и выходных данных.

Влияние неравномерности стокообразующих факторов на сток в замыкающем створе зависит от площади водосбора. Чем меньше водосбор, тем меньшую роль играют сглаживающие эффекты, и тем большее влияние на сток оказывают мелкомасштабные неоднородности. С увеличением размеров площади водосбора влияние мелкомасштабных неоднородностей снижается, однако может существенно повыситься роль крупномасштабных неоднородностей, связанных со значительными различиями водно-физических характеристик почвы на больших участках водосбора, с изменчивостью водоподачи и др.

При изучении гидрологической роли леса применяются как модели детерминистических процессов, так и модели вероятностных (или стохастических) процессов, при рассмотрении которых принимается в расчет и вводится понятие вероятности появления переменных, участвующих в формировании стока, и учитывается (или не учитывается) последовательность появления переменных.

Генетическая теория стока устанавливает детерминированные связи между стоком и стокообразующими факторами, однако ввиду сложности этих связей зачастую приходится прибегать к методам вероятностной оценки гидрологических процессов. Так, при анализе зависи-

мостей величин паводков от стокобразующих ливней даже на малых водосборах (по данным ЛГС "Аибга" и "Горский") получены корреляционные отношения не более 0,7-0,8, и чем мощнее почвенный покров, тем менее точными являются эти зависимости. Еще менее точны подобные зависимости для водосборов основной речной сети – из-за сложности взаимосвязей процессов.

Следовательно, при оценке водорегулирующей роли леса целесообразно использовать вероятностную оценку выполнения данной лесорастительной формацией (насаждением, древостоем) функций регулирования паводков, образующихся под воздействием комплекса факторов. Аналогично тому, как в гидротехнике расчет сооружений ведется на определенный запас прочности, зависящий от вероятности наступления критических моментов (а также от класса сооружения), так и при определении нормативов водорегулирования лесной растительностью в конкретных климатических условиях следует принять норматив вероятности (или обеспеченности) водорегулирующей роли леса.

Расчет повторяемости паводка, регулируемого насаждением (1 раз в 100, 50 или 20 лет) необходимо производить на основе опытных данных и социальной значимости защищаемых лесом территорий. На современном этапе исследований нельзя говорить об идеализации гидрологической роли горных лесов без учета повторяемости критических экологических ситуаций в регионе, иначе полученные в эксперименте данные не будут иметь сравнительной оценки (значения).

Общая схема нормирования максимального склонового стока, регулируемого данным насаждением, включает расчет кривых обеспеченности наблюденных значений стока, оценку обеспеченности (повторяемости) стокообразующих ливней, а также нормативов водорегулирования расчетного расхода воды лесонасаждением. При этом возможно использование аналитических функций распределения, обычно применяемых в инженерно-гидрологических расчетах, т.е. биномиального распределения Пирсона III типа и трехпараметрического гамма-распределения Крицкого-Менкеля. Для этих распределений параметрами являются: математическое ожидание (среднее ряда) $X_{ср}$, средне-

квадратическое отклонение δ или коэффициент изменчивости (вариации) Cv, а также коэффициент асимметрии Cs.

В силу ограниченности ряда наблюдений за стоком и осадками на реальных гидростворах и постах особой задачей является оценка смещенности ординат аналитического распределения относительно эмпирических точек, для чего рекомендуется применять графоаналитические методы.

Из всех методов оценки параметров кривых распределения (метод моментов, метод наибольшего правдоподобия, графоаналитические методы), на наш взгляд, предпочтительнее графический метод как наиболее простой. Эмпирические и аналитические кривые обеспеченности строят на клетчатках вероятностей, известных в гидрологии для выравнивания, а в некоторых случаях - для спрямления интегральных функций распределения.

Как правило, в гидрологических справочниках довольно легко найти таблицы координат для распределения Пирсона III типа, а также величин K_p (C_v, P) для трехпараметрического гамма-распределения Крицкого-Менкеля.

Если продолжить аналогию вероятностной оценки водорегулирования лесной растительностью с гидротехническими сооружениями, следует задаться (или рассчитать) допустимой величиной ежегодной вероятности превышения максимального стока. Так, для гидротехнических сооружений 1-го класса капитальности расчетная ежегодная вероятность превышения принимается 0,01%, для 2-го класса - 0,1%, для 3го класса - 0,5%, для 4-го класса - 1,0%, а при проектировании временных гидротехнических сооружений (5-й класс) - 10%. Очевидно, для определенного региона и целевого назначения должна быть разработана своя шкала классности (включая и социальную значимость водорегулирования в данном бассейне, например - защита населенных пунктов от наводнений).

По нстоящей методике обычным путем по кривой обеспеченности максимальных расходов воды (а также суточных максимумов осадков) устанавливается расчетное значение при нормативной вероятности

ежегодного превышения Р. При этом нормируется не только величина обеспеченности ежегодного превышения (Р), но уровень значимости q (уровень доверительной вероятности), характеризующий уровень гарантии расчета максимального расхода воды, соответствующий классу капитальности сооружения (в нашем случае - лесонасаждения).

Доверительные границы при заданном уровне значимости расхода воды Q зависят от принятого закона распределения и его параметров ($X_{ср}$, C_v, C_s). Нормативный расчет максимальных расходов воды конечной целью имеет прогноз экологических последствий как для нетронутых хозяйственной деятельностью древостоев на водосборах, так и при ведении определенных систем хозяйствования. Уменьшение водорегулирования лесной растительностью в связи с рубками и различными технологиями лесозаготовок должно быть оценено количественно для принятия альтернативных решений о проведении лесохозяйственных мероприятий. Для насаждений определенного региона и целевого назначения должна быть разработана своя нормативная шкала водорегулирующей роли, включающая и социальную значимость водорегулирования в данном речном бассейне.

7.11 Минимальный сток на реках Черноморского побережья Кавказа

Анализ ***минимального (базисного) речного*** **стока** в регионе позволил установить, что этот сток, представляет собою глубоководное грунтовое питание, которое определяется как климатическими и геолого-геоморфологическими характеристиками речного бассейна, так и лесорастительными условиями на водосборе. В связи с этим, изменение лесной растительности на водосборе неизбежно влечет за собой (при прочих неизменных условиях) изменение базисного стока - как его величины, так и его доли в общем годовом стоке реки.

Минимальные суточные расходы воды могут быть определены с ошибками, и поэтому давать неверные представления о базисном стоке. Более устойчивой величиной является минимальный годовой сток из средних минимумов за период 30 суток. Базисный сток, опреде-

ляемый по этой величине, достаточно хорошо коррелирует с базисным стоком, рассчитанным по суточным минимумам (табл. 41).

Таблица 41 Зависимость минимальных годовых расходов за 30 суток **($Q_{min\ 30\ сут}$) от минимальных годовых расходов за 1 сутки ($Q_{min\ 1\ сут}$)**

$Q_{min\ (30\ сут)} = f\ (Q_{min\ (1сут)})$

Река	Пункт	Кол-во лет наблю-дений	Коэф. корре-ляции	$Y = a + b*X$ $Q_{min\ (30\ с)} = a+b*(Q_{min\ (1с)})$	
				a	b
1	2	3	4	5	6
Вулан	с. Архипо-Осиповка	33	0,96	0,04	1,118
Аше	с. Аше	26	0,91	0,55	1,023
Куапсе	с. Мамедова Щель	35	0,80	0,01	1,154
Псезуапсе	с.Татьяновка	26	0,70	0,50	1,148
Шахе	с. Солох-Аул	55	0,79	0,17	1,360
Псий	с. Тух-Аул	35	0,90	0,02	1,193
Сочи	с. Пластунка	54	0,79	-0,05	1,460
Хоста	пос. Хоста	45	0,70	0,44	0,820
Мзымта	р.п. Красная Поляна	35	0,94	-1,63	1,350
Малая Лаба	с. Бурное	54	0,90	1,18	0,982
Белая	пос. Гузерипль	36	0,87	0,23	1,284
Белая	п.г.т. Каменномост-ский	50	0,85	1,33	1,239
Пшеха	пос. Черниговское	47	0,72	1,12	1,180
Пшеха	г. Апшеронск	37	0,90	1,57	1,138
Пшиш	г. Хадыженск	38	0,80	0,44	1,821
Псекупс	г. Горячий Ключ	45	0,85	0,14	1,183
Афипс	ст. Смоленская	41	0,84	0,01	1,168

Из приведенных в табл. 41 рек первая группа (притоки р.Кубани) характеризуют водосборы с интенсивным лесохозяйственным воздействием; 2-ая же группа (реки Черноморского побережья Краснодарского края) меньше подвергались хозяйственному воздействию, и условно может быть отнесена к контрольным водосборам. По результатам анализа характеристик минимального стока рек Северного Кавказа (для бассейнов рек площадью менее 4 тыс. км^2) установлено,

что наибольшее влияние на базисный сток рек оказывает площадь водосбора и его высота над уровнем моря.

Рассчитаны характеристики минимального стока по всему региону Северного Кавказа для бассейнов рек площадью менее 4 тыс.кв.км. Анализом результатов установлено, что наибольшее влияние на базисный сток рек оказывает площадь водосбора и его высота над уровнем моря.

Зависимости минимального 30-суточного стока от площади водосбора поддаются региональному районированию. Нами установлено 6 гидрологических районов, характеризующихся своими особенностями в условиях формирования стока (геоморфологии, высотах над уровнем моря, климате и др.):

1-ый район (верховья реки Кубань до р.Уруп - со средними высотами бассейнов 1500-2800 м. над ур.м.):

$$M_{min} = 12{,}79 - 1{,}267 * \ln F, \quad \eta = 0{,}582 \qquad (127)$$

2-ой район (от бас.реки Малой Лабы до бас.р.Пшехи включительно со средними высотами от 500 до 1700 м. над ур.м.):

$$M_{min} = -4{,}60 + 1{,}69 * \ln F, \quad \eta = 0{,}527 \qquad (128)$$

3-ий район (от бас.реки Пшиш до бас.р.Адагум - высоты от 150 до 500 м. над ур.м.):

$$M_{min} = -1{,}25 + 0{,}298 * \ln F, \quad \eta = 0{,}700 \qquad (129)$$

4-ый район (реки Черноморского побережья от р.Дюрсо до р.Туапсе - северо-западная часть ЧПК):

$$M_{min} = 0{,}419 + 0{,}0042 * F, \quad \eta = 0{,}780 \qquad (130)$$

5-ый район (реки ЧПК от р.Аше до р.Псезуапсе):

$$M_{min} = 2{,}20 + 0{,}0147 * F, \quad \eta = 0{,}827 \qquad (131)$$

6-ой район (реки ЧПК от р.Шахе до р.Мзымты - юго-восточная часть побережья с максимальным в регионе увлажнением):

$$M_{min} = 12{,}4 + 0{,}0111 * F, \quad \eta = 0{,}938 \qquad (132)$$

В зависимостях (127)-(132): M_{min} - минимальный (базисный) сток реки в мм за год с 1 км^2; F - площадь водосбора в км^2.

В пределах каждой районной зависимости может быть определена связь базисного стока от лесистости водосбора. Однако, ввви-

ду сравнительно небольшой численности групп водосборов с наблюдениями за стоком (не более 12…16) в каждом районе выделить влияние лесистости представляется достаточно сложной задачей.

Выделенные гидрологические районы рекомендуется применять при подборе рек-аналогов, поскольку только для водосборов рек, входящих в один гидрологический район, можно ожидать сходные гидрологические процессы, для которых будут действительны разработанные модели. Для других водосборов необходима корректировка моделей путем внесения поправочных коэффициентов. В пределах каждой районной зависимости существует связь базисного стока от лесистости водосбора.

Анализ минимального (базисного) речного стока в регионе дает следующие результаты. В гидрологических справочниках, как правило, приводятся данные о минимальных за год среднесуточных расходах воды по замыкающим створам рек. Базисный сток, определенный по этим расходам, представляет собой глубоководное грунтовое питание, которое определяется как климатическими и геолого-геоморфологическими характеристиками речного бассейна, так и лесорастительными условиями на водосборе. В связи с этим, изменение лесной растительности на водосборе неизбежно влечет за собой при прочих неизменных условиях) изменение базисного стока - как его величины, так и его доли в общем годовом стоке реки.

7.12 Гидрологическое районирование территории Черноморского побережья Кавказа по литературным данным

Мельниковой (2012) выполнен анализ географических особенностей водного режима рек Северо-Западного Кавказа, а также уточнено гидрологическое районирование региона. (Мельникова, 2012). При этом использованы работы, выполненные в 1960 году П.С.Кузиным. На основе анализа важнейших фаз водного режима П. С. Кузин[7] разделил реки на три основных типа питания: I - реки с половодьем; II -реки с по-

[7] Кузин П.С. Классификация рек и гидрологическое районирование СССР - Л.: Гидрометеоиздат, 1960. - 455 с.

ловодьем и паводками; III - реки с паводками. Каждый из этих типов, в зависимости от времени наступления половодий и паводков разделен на подтипы. В пределах Северо-Западного Кавказа П. С. Кузиным (1960) выделены 5 гидрологических районов, частично выходящие и за его границы, в том числе Колхидский район, к которому он отнес реки Черноморского побережья к югу от р. Туапсе и до р. Мзымта включительно. Границы представленных районов четко не определены по водоразделам рек, не привязаны к определенным высотным поясам. Не приведено гидрологическое районирование Северо-Западного Кавказа и в изданиях Государственного водного кадастра.

Горно-лесная зона охватывает довольно большой диапазон высот, поэтому отдельные реки в ее пределах могут по своему режиму несколько отличаться. Однако для всех рек характерно весенне-летнее половодье и паводки, формирующиеся летом, осенью и зимой. Начало половодья, в зависимости от высоты, приходится в среднем на середину марта - середину апреля.

Наиболее многоводным является период с апреля по июнь, на который приходится в среднем около 50 %, а наиболее маловодным - август-декабрь, в течение которого стекает от 20 до 30 % годового объема.

Реки высокогорной зоны характеризуются относительно невысоким и длительным летним половодьем, формируемым преимущественно талыми водами снегов и ледников. На спаде половодья могут формироваться осенние дождевые паводки. Зимняя межень длительная и относительно высокая. Внутригодовое распределение стока рек этого района отличается большой неравномерностью. На полноводный период (май - август) приходится в среднем 70-75 % годового стока. Самым маловодным является период декабрь - март, когда стекает лишь 10 % годового объема стока.

Рисунок 103 - Схема гидрологического районирования Черноморского побережья Краснодарского края Приведено по данным Атласа Краснодарского края (2001)

Реки Черноморского побережья характеризуются III паводочным типом режима. На реках Северного Причерноморья паводки пре-

обладают в холодный период. В летне-осенний период наступает между паводками довольно длительная и низкая межень. На весенне-летний период приходится около 45 % годового стока и на зимний - 55 %.

Отличие рек Южного Причерноморья состоит в том, что паводки здесь еще более многочисленны (до 20-25 в год) и более равномерно распределяются внутри года с несколько меньшим их числом в весенний период. Меженные периоды поэтому менее продолжительны и отличаются высокой водностью.

Таким образом, по данным Кузина П.С., реки большей части территории Северо-Западного Кавказа по характеру водного режима относятся к II типу - реки с половодьем и паводками. К III типу относятся реки Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа, характеризующиеся паводочным режимом.

По данным Т.Н. Мельниковой.(2008), выполнившей анализ водного режима рек Северного Кавказа, предложены математические зависимости пространственно-временной изменчивости речного стока Прикубанья, а также Черноморского побережья Кавказа. На рис. 104 показаны фрагменты схемы районирования территории по связи среднего годового стока рек (Y, мм) со средней высотой их водосборов ($H_{ср}$, м)

В условиях горного рельефа наблюдается вертикальная поясность в распределении стока, поэтому прежде всего был выполнен анализ характера связи нормы годового стока (Y, мм) со средней высотой водосборных бассейнов ($H_{ср.}$, м).

При исследовании характера связи нормы годового стока со средней высотой водосборов ($Y = f(H_{ср.})$) Т.Н.Мельниковой (2008) было уделено внимание малым водосборам, что должным образом не отражено в гидрологическом издании. С этой целью отдельно выделялись и анализировались водосборные бассейны рек Северо-Западного Кавказа с площадью до 100, 101–200 и 201–500 кв. км.

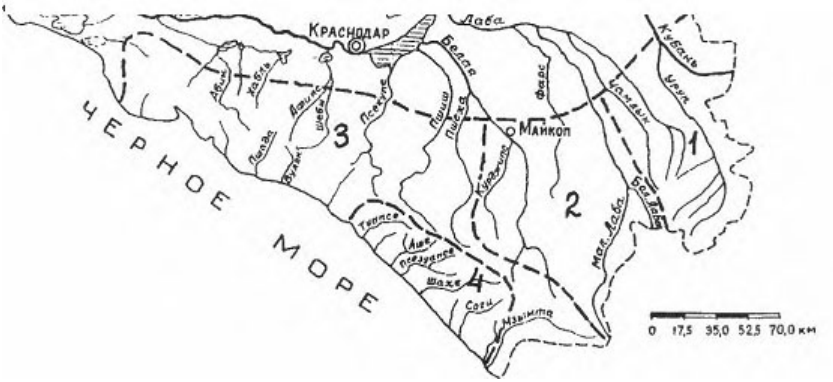


Рисунок 104 – Схема районирования территории Северо-Западного Кавказа по связи среднего годового стока рек (Y, мм) со средней высотой их водосборов (Hср, м) (Т.Н.Мельникова,2012)

По результатам анализа графика связи нормы годового стока рек со средней высотой их бассейнов Т.Н.Мельниковой выделено четыре основные группы точек, соответствующие определенным участкам исследуемой территории. В их числе район 3 выделен как самый крупный, занимающий западную часть территории и включающий предгорную и низкогорную части левобережья бассейна Кубани, а также юго-западные склоны невысокого здесь Главного Кавказского хребта до р. Туапсе.

Наименее охвачена наблюдениями западная часть района, где данные по ряду малых рек отклонились влево от линии связи, однако данных для выделения здесь особого района недостаточно. В юго-восточной части в этот район вошли верховья р. Белой, а также бассейн р. Мзымта (рис. 104). В отличие от связей по районам 1 и 2, в данном случае связь, также как и далее по району 4, получилась прямолинейной. Пределы высот, которым соответствует эта связь, составляют 100–2000 м с учетом экстраполяции.

Район 4 по соответствующей связи Y = f (Hср.) выделен в пределах высот 400–1000 м Черноморского побережья (рис. 106). Полученная связь по данным 10 водосборов, относящихся к категории малых, отражает в этих пределах условия формирования годового стока, за

исключением бассейна р. Мзымта, расположенного на крайнем юге, отличающегося особыми условиями рельефа и поэтому меньшим увлажнением.

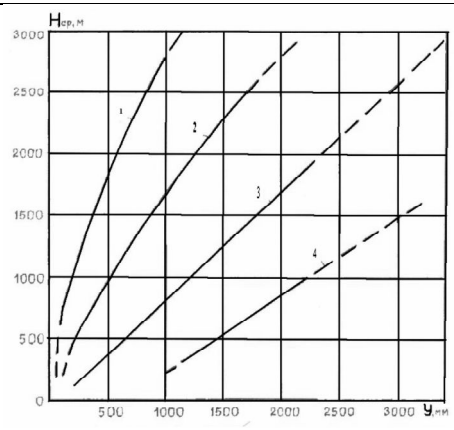
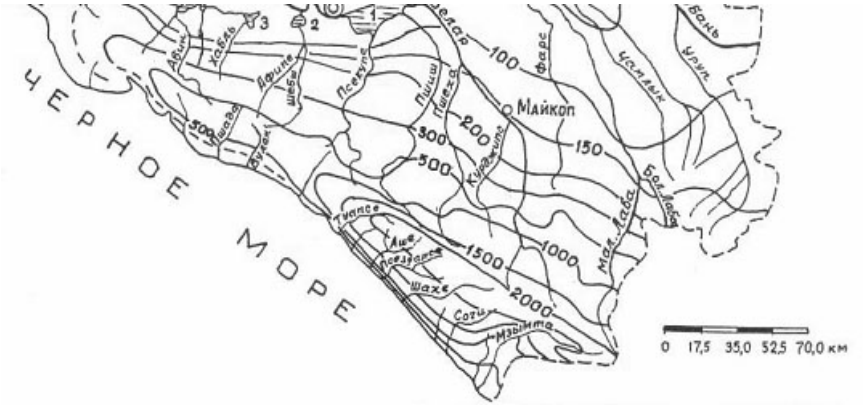


Рисунок 105. Сводный график связи нормы годового стока рек (Y, мм) со средней высотой их водосборов (Hср, м); 1–4 – номера гидрологических районов (приведено по данным Т.Н.Мельниковой, 2012)



Рисунрк 106. Карта изолиний нормы годового стока рек южной части Северо-Западного Кавказа, мм (по данным Мельниковой Т.Н.(2008),

Несмотря на малые размеры водосборов (15–420 км^2), по всем из них выявилась достаточно четкая и прямолинейная связь Y = f (Hср.),

которая экстраполирована до 200 м вниз и 1500 м в верхней части[8].

Анализ сводного графика связи нормы годового стока рек *(Y, мм)* со средней высотой их водосборов *(Нср, м)* (рис. 106) и составленной на его основе таблице, позволяют сделать вывод о том, что в пределах Северо-Западного Кавказа наблюдается не только очень большое различие в стоке рек, расположенных в одной высотной зоне, но значительно различаются нормы годового стока с высотой.

В условиях горного рельефа наблюдается вертикальная поясность в распределении стока, поэтому прежде всего был выполнен анализ характера связи нормы годового стока *(Y, мм)* со средней высотой водосборных бассейнов *(Нср., м)*. При исследовании характера связи нормы годового стока со средней высотой водосборов *(Y = f(Нср.))* особое внимание было уделено малым водосборам, что должным образом не отражено в гидрологическом издании.[9] С этой целью отдельно выделялись и анализировались водосборные бассейны рек Северо-Западного Кавказа с площадью до 100, 101–200 и 201–500 км^2 (Мельникова, 2001).

Таблица 42 - Распределение нормы годового стока *(Y, мм)* по высотным поясам (по данным Мельниковой Т.Н.(2008),

Высоты, м	Районы по связи нормы годового стока с высотой			
	1	2	3	4
200	50	100	300	1000
400	60	150	530	1280
600	90	260	750	1600
800	120	390	1000	1920
1000	180	500	1200	2250
1500	360	860	1780	3000
2000	570	1250	2350	
2500	820	1700	(2900)	
3000	(1130)	2250		

[8] Мельникова Т.Н. Норма годового стока рек Северо-Западного Кавказа и особенности ее территориального распределения (http://melnikova-agu@mail.ru 2012)

[9] Мельникова Т.Н., Комлев А.М. Водоносность рек Северо-Западного Кавказа Майкоп: Качество, 2003. 132 с.

По результатам анализа графика связи нормы годового стока рек со средней высотой их бассейнов выделено четыре основные группы точек, соответствующие определенным участкам исследуемой территории. В связи с тем, что увеличение нормы годового стока с высотой на разных участках различны, получены 4 зависимости, каждая из них относится к определённому участку территории – гидрологическому району (рис. 106).

На высотах 1500 м слой стока в район 1 составлял 360 мм, тогда как на этой же высоте в районе 4 он может достигать 3000 мм. Если в районе 1 слой стока с увеличением высоты местности на 100 м возрастает лишь на 40–45 мм, то в районе 4 это увеличение составляет 240–250 мм, т.е. почти в 6 раз больше.

В связи с получением новых локальных зависимостей нормы годового стока от средней высоты водосборов, а также уточнением районирования территории по характеру этих зависимостей, Мельниковой составлена карта изолиний нормы годового стока рек (рис. 106).

Действительное пространственное распределение стока намного сложнее, так как количество атмосферных осадков в горах зависит от ориентации отдельных бассейнов и их частей относительно направления влагонесущих воздушных потоков, от локальных особен- ностей циркуляции атмосферы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучаемая территория является южной частью Северо-Западного Кавказа, именуемая также Черноморским побережьем Кавказа, и включает территорию Анапского и Туапсинского районов, города-курорта Геленджик, Сочинского национального парка, часть Кавказского биосферного госзаповедника. а также сопредельную городскую территорию курорта Большой Сочи

Особенностью региона в гидрологическом отношении является то, что район представляет собой замкнутый бассейн с резко очерченным контуром, внутри которого происходит почти полностью 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.

Речная сеть этой территории является результатом взаимодействия сложных физико-географических процессов: климатических, гидрологических, геоморфологических и других. Речной сток служит своеобразным интегральным показателем этих процессов. Речные системы являются формой отражения естественного физико-географического процесса, причем началом отсчета в этой системе является первичная долина как первичная форма концентрации склонового стока и образования нерусловой потока. В горных условиях **речная сеть включает** не только постоянно действующие водотоки, но она включает и те временные (нерусловые) потоки, которые завершают процессы склонового стока и переносят размытый склоновый материал в постоянно действующие водотоки и речки. **Поток (долина) I порядка** является физической границей, разделяющей ручейковую склоновую сеть и речную сеть. С увеличением площади возрастает минимальный сток и уменьшается максимальный и средний за сезоны. При этом регулирующая емкость водосбора обусловлена не только размерами водосбора, но и его уклоном. Площадь водосбора сама по себе является регулятором стока: чем больше водосбор, тем больше зарегулированность стока.

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.

Экспериментальное изучение гидрологических свойств территории проводилось двумя методами: **стационарным и экспедиционным**, каждый из которых дополняет друг друга. **Стационарным методом** получены все элементы гидрологии района, но только для репрезентативных водосборных бассейнов. ***Экспедиционным методом*** были получены экспериментальные данные на больших площадях и в различных условиях, что позволило более точно усреднить характеристики изучаемых параметров по площади.

Гидрографическая сеть Сочинского Причерноморья представлена сравнительно небольшими реками, впадающими в Черное море. Непосредственно в море впадают более 80 рек, а остальные являются притоками первого, второго и следующих порядков. Средний модуль стока рек составляет 60-70 л/сек с 1 км^2 и значительно увеличивается от устьев рек к истокам. В маловодные годы некоторые реки в устьевых частях полностью теряют поверхностный сток. Реки имеют паводочный водный режим, при этом паводки имеют в основном дождевое происхождение. Число паводков составляет в среднем 25-30 в год. Паводки характеризуются кратковременностью (в среднем до 5-6 суток) и большой интенсивностью подъёма уровня воды (от 1-2 до 4-5 м). Руслоформирующие паводки возникают при выпадении интенсивных ливней, превыщающих 80 мм и более.

По гидрологическому режиму реки района делятся на две группы. К первой относятся реки, берущие начало с Главного Кавказского хребта (р.р. Мзымта, Псоу, Лаура, Ачипсе), в питании которых существенную роль играют ледники и многолетние снежники. Ко второй группе относятся реки, берущие начало с отрогов Главного Кавказского хребта, питание которых происходит в основном за счет атмосферных осадков и подземных вод (притоки рек Шахе, Сочи, Псоу, Мзымты и др.).

Проведенные исследования по измерениям расхода воды на основных реках региона показали, что при изучении русловых процессов определение энергетических потерь в потоках является одним из важнейших задач как с точки зрения теоретической, так и практической. По результатам многочисленных **измерений** расходов воды установлены графические и аналитические зависимости, позволяющие рассчитывать скорости потока при катастрофических паводках на реках.

Основная часть приведенных материалов посвящена анализу формирования склонового стока на элементарных водосборах (притоках первого порядка), где формируется речной сток. Определен размер элементарных водосборов - в зоне буковых лесов - 23-30 га, в зоне дубрав - 30-50 га. Стокообразующие факторы (осадки, радиационный режим и др.) формируют различные виды стока (поверхностный, склоновый, грунтовый) и подчиняются закону географической зональности. Факторы подстилающей поверхности имеют азональный характер и могут служить регулированию процессов генезиса стока.

На экспериментальном материале показано влияние на склоновый сток метеорологических факторов (количество осадков и форма графика дождя, влияющие на динамику поступления воды в бассейн).. Получены формулы формирования склонового стока за счет превышения интенсивности ливня над минимальным впитыванием. В основу обобщения результатов экспериментальных исследований и определения расчетных формул положен генетический анализ комплексного явления фильтрации и стока.

По многолетним данным изучено влияние снежного покрова на

формирование речного стока. Так, для южного макросклона Северо-Западного Кавказа на высотах более 1200 м над ур. м. более половины зимних осадков (XI-III) аккумулируется в снежном покрове и расходуется в весенне-летний период - с апреля до середины июня. Получены зависимости коэффициента снегонакопления от высоты над уровнем моря. Для основных рек (Мзымта, Шахе и др.) высокогорья составляют более половины площади их бассейнов. На высокогорных частях бассейнов рек 60-80% и более от суммы осадков, выпадающих в холодный период года, зарегулированы снежным покровом. Следствием расходования аккумулированных в зимнее время осадков является то, что на реках, имеющих высокогорья, объем стока в апреле - мае достигает 40-44 % от всего годового стока, а вариация годового стока в многолетнем разрезе наименьшая - 0,16-0,21.

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 для расчёта коэффициентов паводочного стока эмпирические зависимости, учитывающие предварительное увлажнение бассейна и график паводкообразующего дождя.

По материалам опорной сети Росгидромета были сследована база данных годовых и сезонных сумм осадков и стока в бассейнах основных рек региона Каждый ряд наблюдений подвергнут статистической обработке для получения характеристик годовых и сезонных слоев стока. При этом анализ стока проведен в многолетнем разрезе (для сезонов и гидрологических лет), причем сток был переведен в относительные величины (модульные коэффициенты, представляющие отношения годовых значений стока к норме стока). Установлено, что цикличность осадков и речного стока для отдельных частей региона носит общий характер, что облегчает задачу определения периода и размеров изменения стока на водосборе под влиянием изменения состояния лесной растительности. По результатам мониторинга склоно-

вого стока на малых водосборах **доказано, что н**аиболее интенсивно на сток влияет вырубка леса; на основных реках влияние рубок ещё заметно при площадях водосборов до 40-70 тыс.га. На водосборах более 100 тыс.га выявить изменения режима стока практически не представляется возможным.

Экспедиционные и стационарные исследования склонового стока показали, что 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.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Абшаев М.Т., Борисова Н.В., Малкарова А.М. О тенденции изменения климата на Северном Кавказе // Тезисы докладов всемирной конференции по изменению климата. М., 2003.

Авакян А.Б., Плюшкин А.А. Влияние наводнений на жизнь общества и защита от них // Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1989, №2, с. 41-54

Адо М.И. Экзоты Черноморского побережья. СельхозГИЗ, М., 1934. 120 с.

Акатов и др. Кавказский заповедник // Заповедники СССР, Заповедники Кавказа. М.: Мысль,1990, с. 110-130[Текст]:

Алексеев Г.А. К вопросу об оценке вероятной повторяемости гидрологических величин. // Метеорология и гидрология, 1958, № 3, с. 46—48

Алексеевский Н.И., Айбулатов Д.Н., Косицкий А.Г. Масштабные изменения стока в русловой сети территории. В кн.: География, общество, окружающая среда. Т. 6. Динамика и взаимодействие атмосферы и гидросферы. М.: Городец, 2004. - с.345-375

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

Алибегова Д.А., Элизбарашвили Э.Ш. Статистическая структура атмосферных осадков в горных районах. Л.: ГИМИЗ, 1980. -136 с. [Текст]:

Алибегова Ж. Д. Структура полей жидких осадков за короткие интервалы времени// Л.: Гидрометеоиздат, 1975.— 134 с. [Текст]:

Андерсон В.Н. Геоинформационные системы и картографирование // Изв. АН РФ Серия географич., № 2, 1996. С. 124-130. [Текст]:

Андреянов В.Г. Методические указания по расчетам внутригодового распределения стока при строительном проектировании. — Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 77 с.

Анисимов В.И. Рекреационная география. Учебное пособие. СГУ-

ТиКД, Сочи, 2006 – 177 с.

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

Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометиздат, 1974. — 419 с.

Атлас мирового водного баланса. — М.: Гидрометиздат, 1974. 64 л.

Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм. Л., Гидрометиздат, 1986.

Афанасьева Н. Н., Панфилов В. П., О корреляции между механическим составом, наименьшей влагоемкостью и максимальной гигроскопичностью почв и грунтов. «Почвоведение», № 2. 1969.

Ахутин А.Н. Неравномерное движение воды в открытых руслах. ОГИЗ. М-Л, 1931.

Баринов А.Ю. Геоморфологический анализ ливневой селеопасности Черноморского побережья Кавказа в пределах береговых морфосистем. // Труды международной конференции "Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита". Пятигорск, Институт Севкавгипроводхоз, 2008, стр. 59-61

Бекух З.А., Ефремов Ю.В., Жирма В.В. и др. Физическая география Краснодарского края: Учебное пособие. Краснодар, 2000. – 188 с.

Белякова А.В. Оптимизация управления особо охраняемыми природными территориями (на примере Краснодарского края). Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. экон. наук М: – 2006 – 30 с. [Текст]:

Берг Л. С. Географические зоны Советского Союза. Том II. —М.: Государственное издательство географической литературы, 1952.

Бефани А.Н. Теоретическое обоснование методов исследования ***н*** расчета паводочного стока рек Дальнего Востока. Тр. ДВНИГМИ, вып. 22. Л., Гидрометеоиздат, 1966.

Бефани А.Н. - Основные положения теории речного стока. Труды ОГМИ, вып.ХП.1958. - 300 с.

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

Бефани А.Н., Бефани Н.Ф., Вишневский П.Ф., Иваненко А.Г., Позднякова В.Б., Тюхтя К.К. Экспериментальные исследования дождевого стока в Карпатах (бассейн р.Рики).Тр.УкрНИГМИ, в.69, Гидрометеоиздат, Л,1967.- 278 с.

Бефани А.Н., Иваненко А.Г. - Водный баланс горных склонов. Труды УкрНИГМИ, вып.69, Гидрометеоиздат, Л, 1967. С. 150-180 с.

Бефани А.Н., Бефани Н.Ф., Битюков Н.А., Гопченко Е.Д., Гушля А.В., Коваль И.П., Одрова Т.В.- Экспериментальные исследования дождевого стока в буковых лесах бассейна р. Мзымты (материалы экспедиционных работ 1967 г.).

Бефани А.Н., Урываев П.А., Бефани Н.Ф., Одрова Т.В., Федорей В.Г. Экспериментальные исследования дождевого стока в Приморье. Труды ДВНИГМИ, вып.22. Гидрометеоиздат, Л,1966. 315 с.

Бефани Н.Ф. Расчет впитывания ливневых вод каштановой и подзолистой почв. Тр. ОГУ, серия геолог, и географ, наук, вып. 3, 1955.

Бефани Н.Ф. Расчетные формулы впитывания на полевых землях Приханкайской равнины. Тр. ДВНИГМИ, вып. 22. Л., Гидрометеоиздат, 1966.

Бефани Н.Ф., Терентьев Е.В., Федорей В.Г. Формулы впитывания на тяжелых почвах долины р. Уссури. Тр. ДВНИГМИ, вып. 24, Л., Гидрометеоиздат, 1967.

Битюков Н.А. Исследование водного и теплового режимов буковых лесов Черноморского побережья Кавказа. // Автореф. дисс. … канд. географ. наук. М., 1972. 24 с.

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. Гидрологическая роль леса на горных водосборах // Экологические основы ведения лесного хозяйства в горных лесах: Тр. НИИгорлесэкол, 1994. С.12…19

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

Битюков Н.А. О климатической и гидрологической роли буковых

лесов Черноморского побережья Кавказа // Лесн. журн.1970. №5. С.141…143.

Битюков Н.А. Особенности формирования снежного покрова в горных лесах Северо-Западного Кавказа //Охрана и рац. использов. лесов Черноморского побережья Кавказа: Сб.науч.тр.ВНИИЛМ. 1976. Вып.11. С.41…52.

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

Битюков Н.А. Водный баланс водосборов в связи с рубками в буковых лесах Северного Кавказа // Лесоведение, 1988, 3 - С. 56-65. [Текст]:

Битюков Н.А. Методические основы мониторинга горных лесных экосистем. // Охрана лесных экосистем и рац. использование лесных ресурсов.: Тез. докл. Всерос. научно-техн. конф. М.,1994. - С.82-84.

Битюков Н.А. Методические принципы изучения гидрологической роли горных лесов. // Проблемы лесоведения и лесной экологии : Тез.докл.АН СССР,Госкомлес СССР.М.1990.- С.8-11. [Текст]:

Битюков Н.А. Мониторинг экосистем буковых лесов Сочинского Причерноморья: Монография //Научные труды Сочинского национального парка// Сочи:ФГБУ «СНП». 2013 – 391 с. с илл.

Битюков Н.А. Режим влажности бурых лесных почв Черноморского побережья Кавказа.// Почвоведение, 1973, №11. - С. 77-85.

Битюков Н.А. Экология горных лесов Причерноморья. Монография / Сочи: ФГУ НИИгорлесэкол, 2007. –397 с. [Текст]:

Битюков Н.А., Коваль И.П. Экспериментальные исследования гидрологической роли буковых лесов.// Сб. «Повышение продуктивности, водоохранных и защитных функций// М., ВНИИЛМ. 1969.- с.11-15.

Битюков Н.А., Пестерева Н.М., Ткаченко Ю.Ю., Шагаров Л.М. Рекреация и мониторинг экосистем Особо Охраняемых Природных Территорий Северного Кавказа. – Сочи: ФГБОУ ВПО СГУ, 2012. – 456 с., с ил.

Битюков Н.А., Шагаров Л.М. Мониторинг атмосферных осадков в буковых лесах Черноморского побережья Кавказа // Известия высших

учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2013. № 1. С. 67-71

Болыпев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1983.-416 с.

Важнов А.Н. Анализ и прогноз стока рек Кавказа. М.: Гидрометиздат, 1966.-275 с.

Великанов М.А.Динамика русловых потоков. Гидрометеоиздат. Л,1949.

Владимиров Л.А. Водный баланс Большого Кавказа. // Тбилиси: Мецниереба, 1970.— 141 с. [Текст]:

Владимиров Л.А., Гигинейшвили Т.Н., Джавахишвили А.М., Закарашвили Н.Н. Водный баланс Кавказа и его географические закономерности. Тбилиси: Мецниереба, 1991. -142 с. [Текст]:

Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. Л.: Гидрометеоиздат, 1990.-364 с.

Владимиров А.М. Минимальный сток рек СССР. JL: Гидрометиздат, 1970.-214 с.

Владимиров А.М. Сток рек в маловодный период года. Л.: Гидрометиздат, 1976. - 296 с.

Владимиров А.М., Хмаладзе Г.Н. Минимальный сток рек Кавказа. «Тр. ГГИ», 1972. Вып. 188. - с. 273-282

Волкодав Н.В., Лукьяшко С.М., Объекты исторического наследия в природных ландшафтах и развитие туристских комплексов на территории Большого Сочи // Социально-экономическое развитие курортов России. (Тезисы докладов) 19-22 апреля 2007 г. (РАН, СНИЦ РАН) Сочи-2007 – 200 с.

Вопросы формирования паводков на реках Дальнего Востока. Труды ДВНИГМИ, вып.24, 1967.- 296 с.

Ворошилов В. И. Топонимы Российского Черноморья: (История и этнография в географических названиях). — Майкоп: Качество, 2005. — 264 с.

Вызго М.С. О коэффициенте шероховатости. Гидротехническое строительство, 11, 1951.

Вылканов А. и др. Черное море. Л.: Гидрометеоиздат. 1983. 408 с.

Гаврик П. А., Назарова Д. И., Корреляционная зависимость между впитыванием влаги и физическими свойствами черноземов обыкновенных. «Почвоведение», № 11. 1973.

Глазовская Т.Г. Возможное изменение снежности и лавинной активности вследствие прогнозируемого глобального потепления // МГИ. 2000. Вып. 88. С. 70-73. [Текст]:

Гончаров В.И. Основы динамики русловых потоков. Гидрометеоиздат. Л, 1954.

Горбачев А.И. Гидравлика. Гос. транспортное изд-во. М-Л, 1933.

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

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 побережья Черного моря, бассейн Кубани. Обнинск: ВНИИГМИ МИД, 1971-1988.

Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. 2004 год. Москва, Метеоагентство Росгидромета. 2005.

Грин А. М. Коррелятивные связи между величиной инфильтрации и свойствами почвенного покрова. Докл. АН СССР, т. 200, № 6., 1971

Дараселия М. К. Краткие итоги научно-исследовательских работ по почвоведению и мелиорации почв. Субтропические культуры, К: 5-6, 1967.

Дегтяренко Т.И. Климатические и антропогенные изменения стока рек Кавказа. Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1988, Вып 149.

Джоашвили Ш.В. Роль речных наносов в динамике морских берегов// Известия АН СССР. 1989. №4. С. 92-97.

Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. М.: изд-во МГУ, 1990.-304 с.

Евстигнеев В.М., Зайцев А.А., Сваткова Т.Г., Чалов Р.С. Шенберг Н.В. Водный режим рек СССР. М.: Вестник Моск. ун-та, сер. 5,

Геогр. 1990, №1, с. 10-15.

Ефремов Ю.В. "В стране лазоревых озер". - Кубанский краевед'89, — Краснодарское книжное издательство, 1989. 110 с.

Ефремов Ю.В. В стране горных озер. // Краснодарское книжное издательство, 1991.- 180 с. [Текст]:

Ефремов Ю.В. Голубое ожерелье Кавказа. // Л,; Гидрометеоиздат, 1988. – 224 с. [Текст]:

Ефремов Ю.В. Горные озера Западного Кавказа, -//-Л.: Гидрометеоиздат, 1984.- 210 с. [Текст]:

Ефремов Ю.К. Тропами горного Черноморья, Географгиз, 1963.- 115 с.

Залиханов М. Ч. Снежно-лавинный режим и перспективы освоения гор Большого Кавказа. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростов. ун-та, 1981.- 376 с.

Залиханов М.Ч., Коломыц Э.Г., Панов В.Д., Докукин М.Д. Прогноз изменения климата, высокогорных ландшафтов и оледенения Большого Кавказа на ближайшие десятилетия // Тр. ВГИ. 1985. Вып. 62. С. 14-33. [Текст]:

Иванченко Т.Е., Панов В Д. Распределение атмосферных осадков на Большом Кавказе // Сб. работ Ростовской ГМО. 1980. Вып. 18. С. 125-133.

Ивонин В.М., Пеньковский Н.Д. Национальные парки: Учебное пособие для студентов вузов и повышения квалификации сотрудников нацинальных парков. – Ростов н/д: Издво СКНЦ ВШ, 2006.- 184 с.

Изменение климата, 2007 г.: физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Четвертый доклад МГЭИК об оценках. Резюме для политиков. ВМО-ЮНЕП, 2007.

Кадастр минеральных вод СССР. М.: ЦС по управлению курортами профсоюзов. 1987. 111с.

Карпун Ю.Н. Дендропарк «Белые ночи». Сочи. 1989. – 64 с.

Кислов А.В. Климат в прошлом, настоящем и будущем. — М.: МАИК «Наука / Интерпериодика», 2001. 350 с.

Клиге Р.К. Связь минимального стока с площадью водосбора на

территории Северного Кавказа. В кн.: Геоморфологические и гидрологические исследования. М.: изд-во МГУ, 1968.

Клиге Р.К. Минимальный сток рек Северного Кавказа. Афтореф. канд. дис. - М.: географический ф-т МГУ, 1964.

Клиге Р.К. Некоторые особенности формирования минимального стока рек западной части Северного Кавказа (бассейн р. Кубани) // Вест. МГУ. 1963. Сер.5. География. №5. с. 32-37

Климатический справочник СССР. Вып. 13. Метеорологические данные за отдельные годы. Часть I Температура воздуха. Часть II Атмосферные осадки. М.: Гидрометиздат, 1953, 1956.

Клименко В.И., Куканов В.М., Прокофьев С.С. Подземные воды Черноморского побережья Кавказа и их охрана. М.: Наука. 1979. - 100 с. [Текст]:

Коваль И. П., Битюков Н. А. Количественная оценка водорегулирующей роли горных лесов Черноморского побережья Кавказа // Лесоведение. 1972. № 1. С. 3—11.

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. Экологические функции горных лесов Северного Кавказа. – М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. 480 с.

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

Коваль И.П., Несветаева С.А. Дробное районирование лесов Черно-морского побережья Кавказа // Лесохоз. Информ.., 1972. Вып. 5 С.3-6.

Коломыц Э.Г. Высокогорные экосистемы под воздействием человека // Тр. ВГИ. 1985. Вып. 60. С. 3-21. [Текст]:

Кренке А.Н, Шантыкова Л. Н. Использование высоты границы питания на ледниках в гидрометеорологических расчетах. // В кн.: Материалы гляциологических исследований. //Хроника обсуждений. М., 1979, вып. 34, с. 167—178. [Текст]:

Кузин П.С. Классификация рек и гидрологическое районирование

СССР - Л.: Гидрометеоиздат, 1960. - 455 с.

Кузин П.С. Классификация рек и гидрологическое районирование СССР. JL: Гидрометеоиздат, 1960. - 455 с.

Кузьминская Г.Г. Черное море. – Изд.10-е, Майкоп: ОАО Полиграфиздат «Адыгея», 2006. – 96 с.

Кучейко А.А. Спутники и карты: взгляд в прошлое и настоящее// Земля из космоса.- 2010.- Вып.6.- С. 54-56.- ИТЦ «Сканэкс».- Москва.

Кучмент Jl.C, Гельфан А.Н. Динамико-стохастические модели формирования речного стока. М.: Наука, 1993. -101 с.

Латышенков А.М., Лобачев В.Г. Гидравлика. Гос.изд-во литературы по строительству и архитектуре. М., 1956.

Леви К.Г., Язев С.А., Задонина Н.В. Глобальные потепления и похолодания в истории Земли и их причины Солнце, Земля, вода и энергия: Материалы научных чтений, посвященных 75-летию со дня рождения академика И.П.Дружинина / Труды Восточно-Сибирского отделения АПВН.- Вып.2.- Новосибирск: Наука, 2005,С.21-36. [Текст]:

Лещенко Б.В. По Западному Кавказу. (из записок натуралиста). Краснодарское кн. Изд-во. Краснодар, 1955. -102 с.

Лурье П.М, Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю. Река Кубань. Гидрография и режим стока. С.П.: Гидрометиздат, 2005.

Лурье П.М. Водные ресурсы и водный баланс Кавказа. С.П.: Гидрометиздат, 2002. - 500 с.

Лурье П.М. Водный режим и баланс рек Северного Кавказа в период изменения климата // Оценка экологического состояния горных и предгорных экосистем Кавказа. Вып.3. Ставрополь: Кавказский край, 2000. с.70-76

Лурье П.М., Панов В.Д. Речной сток Кавказа в условиях современного изменения климата // Тезисы докладов всемирной конференции по изменению климата. М., 2003.

Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. - 264 с.

Мандыч А.Ф. Наводнения и их типы // Известия РАН. Серия географическая. № 2. 2002. с. 23-32

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

Мандыч А.Ф., Котляков В.М. Экологические проблемы и современные тенденции изменения Черноморского региона // Известия РАН. Серия географическая. № 4. 1997. с. 19-37

Материалы наблюдений над снежным покровом и осадками в горах Северного Кавказа за 1966-1990 гг. Ростов-на-Дону, 1970-1990. [Текст]:

Материалы наблюдений над снежным покровом по данным маршрутных снегосъемок в горах Грузии за 1961-1985 гг. Тбилиси, 1964-1986. [Текст]:

Материалы наблюдений над снежным покровом по маршрутным снегосъемкам в горах Кавказа за 1936-1960 гг. Л.; М., 1958-1964. [Текст]:

Мельникова Т.Н. Географические особенности водного режима рек Северо-западного Кавказа. //Международный журнал экспериментального образования №6, Адыгейский гос. ун-тет, Майкоп, e-mail: melnikova-agu@mail.ru 2012 С.22-24

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

Мещерская А.В., Белянкина И.Г., Голод М.П. Мониторинг толщины снежного покрова в основной зернопроизводящей зоне бывшего СССР за период инструментальных наблюдений // Изв. АН. Сер. геогр. 1995. № 4. С. 101-110. [Текст]:

Молчанов В.М. Знакомьтесь – Сочи. Краснодар: Краснодарское книжное изд-во,1989. – 157 с.

Мосияш А.С, Лугавцов А.М. Агроклиматическая характеристика Большого Сочи. Ростов-на-Дону, 1967.

Мостков М.А. Гидравлический справочник. Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре. М.,1954.

Мостков М.А. Расчетная формула для горных потоков, находящихся в естественном состоянии. Метеорология и гидрология, №5, 1938

Мухин В.Н, Полунин А.Я. Методическое указание к разработке ме-

тода краткосрочных прогнозов расходов воды горных рек на основании математической модели формирования стока. Л.: Гидрометиздат, 1982. -148 с.

Нагалевский Ю.Я., **Чистяков В.И.** Физическая география Краснодарского края: учебное пособие — Краснодар: "Северный Кавказ", 2001. — 256 с, ил.

Нежиховский Р.А. Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды. Л.: Гидрометиздат, 1971. - 475 с.

О последствиях проливных дождей в Южном Федеральном округе // Экология и жизнь. 2002, № 4, с. 54

Олейников А.Д., Исаев А.А., Виноградова В.В. Долгосрочные прогнозы лавинной деятельности для Большого Кавказа // МГИ. 1990. Вып. 69. С. 35-42.

Определение основных расчетных гидрологических характеристик (СНиП 33-101-2003). М.: Госстрой России. 2004, - 72 с.

Определение расчетных гидрологических характеристик (СНиП 2.01.1483). -М., 1985.-36 с.

ОСТ–100-95. Методы и единицы измерения рекреационной нагрузки на лесные природные комплексы /Стандрт отрасли. – М.: ВНИИЦлесресурс. 1995. – 14 с. [Текст]:

Павловский Н.Н. Учебный гидравлический справочник, ОНТИ. Л,1932.

Панов В.Д. Главный, Боковой и Водораздельный хребты Большого Кавказа // Изв. ВГО. 1979. Т. 111. Вып. 5. С. 438-442. [Текст]:

Панов В.Д. Ледники бассейна р.Мзымта. — вып. 13, "Гляциология Северного Кавказа", — Л.: Гидрометеоиздат. 1973. С.3-10.

Панов В.Д. Ледники в верховьях Кубани. — Л.: Гидрометеоиздат. 1968. -131 с.

Панов В.Д., Ефремов Ю.В., Саражин В.И. Хребты Западного Кавказа и их влияние на изменчивость некоторых элементов климата // Сб. работ Ростовской ГМО. 1980. Вып. 17. С. 89-93. [Текст]:

Перов В.Ф. Селевые явления на территории СССР. М.: ВИНИТИ, 1989. - 149 с.

Погорелов А.В. Режим устойчивого снежного покрова на Большом Кавказе // МГИ. 1998. Вып. 84. С. 170-175. [Текст]:

Погорелов А.В. Снежный покров Большого Кавказа: Опыт пространственно-временного анализа.- М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. - 287 с.

Поляков Б.В. Значение коэффициента шероховатости русел и пойм равнинных рек. Метеорология и гидрология, №12, 1936.

Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. -Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 448 с.

Программа и методика биогеоценологических исследований / Отв. редактор Н.В. Дылис/ - М.: Наука. 1974. - 402 с. [Текст]:

Рабинович Е.З. Гидравлика. Гос. изд-во технико-теоретической литературы, М,1956.

Ревут И. Б. Физика почв. Изд. «Колос», Л. 1972. – 480 с.

Ревут И. Б., Лебедева В. Г., Абрамова И. А., Плотность почвы и ее плодородие. «Труды по агрономической физике», ,вып. 10. 1962.

Рекомендации по системе ведения лесного хозяйства на зонально-типологической основе для Северного Кавказа /Сост. Комин Г.Е., Ильин А.И., Нетребенко В.Г. и др. – М.: Минлесхоз РСФСР, 1986. – 53 с. [Текст]:

Рекреационные ресурсы. Часть 2. Условия и ресурсы отдыха и туризма. Изд-во Ростовского ун-та, 1982. – 272 с.

Репрезентативные и экспериментальные бассейны // Международное руководство по исследованиям и практике. Под редакцией К.Тоубса и В.Урываева. Гидрометеоиздат. Л.1971 – 428 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.

Ржаницын Н.А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети.Л. Гидрометеоиздат, 1960. – 238 с.

Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек. Л.Гидрометеоиздат, 1985 – 263 с.

Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге, т. I. Гидрометеоиздат, Л., 1965 – 351 с.

Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге, т. II. Гидрометеоиздат, Л., 1969. 302 с.

Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. — Л.: Гидрометиздат, 1977. — 269 с.

Рождественский А.В., Ежов А.В., Сахарюк А.В. Оценка точности гидрологических расчетов. Л.: Гидрометиздат, 1990. - 275 с.

Рыбак О.О., Рыбак Е.А. Прогнозируемые климатические изменения в XXI веке и их вероятные последствия для Черноморского Побережья России// Социально-экономическое развитие курортов России. (Тезисы докладов) 19-22 апреля 2007 г. (РАН, СНИЦ РАН) Сочи-2007 – 200 с.

Серебряный Л.Р., Орлов А.В. Ледники в горах. — М.: "Наука", 1985. 235 с.

Сетров М.И. Комплексный экологический мониторинг ПТК Кавказского биосферного заповедника. //Заповедная экологическая пирамида. Сочи, 1994. С. 6-28. [Текст]:

Сорокин Ю.И. Черное море. М.: Наука. 1982. 216 с.

Сочи. Путеводитель. Автор-составитель П.М.Голубев. М.: «Советская Россия», 1987. – 221 с.

Стащук И.Г. Об использовании в гидрометрии некоторых гидравлических свойств открытых русел. Метеорология и гидрология, №8. 1937

Сукачев В.Н., Основы лесной биоценологии. АН СССР. Изд-во Наука. М., 1964. – 571 с.

Тарчевский Б.А, Ледники и озера Сочинского Причерноморья. — Туапсе, 1998. — 56 с: ил. [Текст]:

Тарчевский Б.А. Экскурсионными тропами Сочи. //ОАО Полиграфиздат «Адыгея». /Майкоп, 2007. -115 с. [Текст]:

Технический регламент. Том III – Гидрология // Сборник основных документов № 2. ВМО-№ 49// Секретариат Всемирной Метеорологической Организации — Женева — Швейцария. Издание 2006 г

Тушинский Г.К., Малиновская Н.М. Изучение снежного покрова и ледников в школе. — М.: "Просвещение", 1972.

Уломов В.И. Нормативная оценка сейсмической опасности Российского Причерноморья для обеспечения сейсмостойкого строительства // Социально-экономическое развитие курортов России. (Тезисы докладов) 19-22 апреля 2007 г. (РАН, СНИЦ РАН) Сочи2007 – 200 с.

Федоров Н.Н.Об определении скоростного множителя С для естественных русел. Труды ГГИ,вып.56(110), 1956.

Федорова Т.К. Физико-химические процессы в подземных водах М: Недра. 1985. 181с.

Федоровский Д. В., Методы определения некоторых физических и водных свойств почвы, применяемые при полевых и вегетационных опытах. Сб. «Агрохимические методы исследования почв». Изд. «Наука», М. 1965.

Хортон Р.Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. – Изд-во иностр. Лит. 1948. – 158 с.

Христофоров А.В. Надежность расчетов речного стока. — М.: Изд-во МГУ, 1993.- 168с.

Христофоров А.В. Теория вероятности и математической статистики. - М.: изд-во МГУ, 1988- 131 с.

Христофоров А.В. Теория случайных процессов в гидрологии. — М.: изд-во МГУ, 1994.- 141 с.

Христофоров А.В., Круглова Г.В., Самборский Т.В. Стохастическая модель колебаний речного стока в паводочный период. М.: изд-во МГУ, 1998.- 146 с.

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

Чеботарев А.И. Общая гидрология. Гидрометеоиздат.Л.1960.

Чертоусов М.Д. Гидравлика. Специальный курс. Госэнергетическое изд-во. М-Л, 1957.

Шамов Г.И. Речные наносы. Гидрометеоиздат.Л,1959.

Швер Ц. А. Атмосферные осадки на территории СССР. //Л.: Гидро-

метеоиздат, 1976. — 302 с. [Текст]:

Швер Ц. А. Степень неравномерности выпадения осадков как показатель ландшафтной зональности. // Труды ГГО, 1975, вып. 341, с. 87—97.

Шелутко В.А. Современные математические модели многолетних колебаний стока //Методы расчета речного стока. Ч.II. М.: Изд-во МГУ, 1980. С. 85…110

Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. — Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 302 с.

Шикломанов И.А. Смирнова Jl.E. Оценка влияния хозяйственной деятельности на сток крупных рек Кавказа. Труды ГГИ, 1973, вып. 206, с. 92-122

Элизбарашвили Э. Ш. К вопросу о высотно-временном распределении температуры воздуха на территории Грузии. // Сообщения АН ГрузССР, 1973, т. 71, № 1, с. 97—100. [Текст]:

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

Яблонский В.С. Гидравлика. Гостоптехиздат.М,1957.

Bityukov N.A., Pestereva N.M., Shagarov L.M. GIS-based environmental monitoring of montane forest ecosystems in protected areas // European Researcher. 2012. Vol. 8-2(27). Pp.1293-1298.

Bekhterev V.N., Kabina E.A. Vapour phase extraction for the isolation of organic compounds from aqueous solutions. //Mendeleev Communication, 2007,17, p. 45-47

Climate Change 2001. The Scientific Basis: Contribution of WG-I to the Third Assessment Report of the IPCC, New York, Cambridge University Press 2001. -881 p.

Fourth Assessment Report of the IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers. WMO-UNEP, 2007.

217. Reid G.C. Solar variability and the Earth's climate: introduction and overview // Eds. by E.Friis-Christensen, C.Froklich, J.D.Haigh, M. Schussler and R. von Staiger. Kluwer Academy Publ., 2000, v.I 1, P.I-11 (Space Science Series of ISSI).

Научные труды

Битюков Николай Александрович
Ткаченко Юрий Юрьевич

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАВКАЗА

Монография

Рецензенты:
Погорелов Анатолий Валерьевич
Шагаров Лев Мерабович

Подписано в печать 15.05.18. Формат издания 60*90/16
Бумага офсетная. Гарнитура Arial
Печать офсетная. Усл. печ. л. 26,7
Тираж 1000 экз. Заказ № 917

Типография ИП Кривлякин С.П. (Типография "Оптима")
г. Сочи, ул. Советская, 40, www.optima-sochi.ru
тел.: (862) 264-91-32, 264-82-19, тел./факс: (862) 264-69-17

ISBN: 978-5-91789-254-2