

ДЛЯ ЛИЧНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

СЕКРЕТНО

21/30
С. В. КЛОПОВ И А. С. КЛОПОВА

ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ
РЕСУРСЫ
СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО
КАВКАЗА

ИЗДАТЕЛЬСТВО АЗЕРБЕЙДЖАНСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ПРИЛОЖЕНИЕ
вх. № 344с
10/III 1853

Приложение
к Бх. № 4с
шоло 18/II-69 2.

ПРИЛОЖЕНИЕ
к вх. № 22/3с
от 27/453

к вх. 1238с

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

С О В Е Т П О И З У Ч Е Н И Ю П Р О И З В О Д И Т Е Л Ь Н Ы Х С И Л

КАВКАЗСКАЯ И ЧЕРНОМОРСКАЯ КОМПЛЕКСНЫЕ ЭКСПЕДИЦИИ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. Г. М. КРЖИЖАНОВСКОГО

С Е К Р Е Т Н О

Экз. № 162

С. В. КЛОПОВ и А. С. КЛОПОВА

ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ
РЕСУРСЫ
СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО
КАВКАЗА

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

1952



5462

Ответственный редактор
член-корр. АН СССР В. И. ВЕЙЦ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий том по гидроэнергетике Северного и Западного Кавказа составлен по материалам изучения природных особенностей гидроэнергетических ресурсов Северного и Западного Кавказа и принципов их использования для развития народного хозяйства.

В данный том включены три исследования:

1. «Гидроэнергетические ресурсы Северного и Западного Кавказа и условия их использования для развития народного хозяйства».

Все разделы этой работы и иллюстрирующие их схемы подготовлены канд. техн. наук С. В. Клоповым, за исключением раздела «Характеристика каровых озер» (ч. II, гл. 4), составленного канд. геогр. наук А. С. Клоповой.

2. «Твердый сток некоторых рек Большого Кавказа» — автор исследования канд. геогр. наук А. С. Клопова.

3. «Местные энергетические ресурсы Черноморского побережья Краснодарского края и перспективы электрификации сельского хозяйства» — автор канд. техн. наук С. В. Клопов. Иллюстрационный материал выполнен С. В. Клоповым и А. С. Клоповой.

Первые два исследования явились итогом изучения производительных сил Северного и Западного Кавказа, произведенного Кавказской комплексной экспедицией Совета по изучению производительных сил Академии Наук СССР. Третье исследование было исполнено в составе Черноморской комплексной экспедиции СОПС АН СССР. Все исследования были проведены Энергетическим институтом им. Г. М. Кржижановского Академии Наук СССР в 1939—1942 и в 1945—1949 гг. В 1946 г. в работах экспедиции по рекам Абхазии участвовал Абхазский научно-исследовательский институт, а в 1947 г. Энергетический сектор Академии наук Грузинской ССР; в 1949 г. рекогносцировка по рекам Дагестана проводилась при участии Дагестанского филиала Академии Наук СССР, а выявление условий использования энергии морских волн — при участии Морского гидрофизического института АН СССР.

Главная задача исследований 1945—1949 гг. заключалась в изучении рациональных путей развития энергетической базы промышленности и сельского хозяйства ряда районов Северного и Западного Кавказа и использования гидроэнергетических ресурсов его горных рек.

Работы указанного периода явились продолжением исследований 1939—1942 гг., когда выяснялись условия сезонного регулирования мощности ГЭС на горных реках и принципиальные схемы использования энергии малых горных рек центрального участка Северного Кавказа для целей местного электроснабжения.

При проведении исследований использованы некоторые данные, полученные авторами во время изучения гидроэнергетических ресурсов

Северного Кавказа Северо-Кавказскими краевыми энергетическими организациями (Севкавэнерго, Севкавгидроэлектрострой и др.) в 1925—1933 гг.

В числе ряда других вопросов по этой теме были изучены:

а) условия и принципиальные схемы использования местных источников водной энергии для энергоснабжения горнорудных предприятий на базе Тырны-Аузского полиметаллического и Малкинского железорудных месторождений;

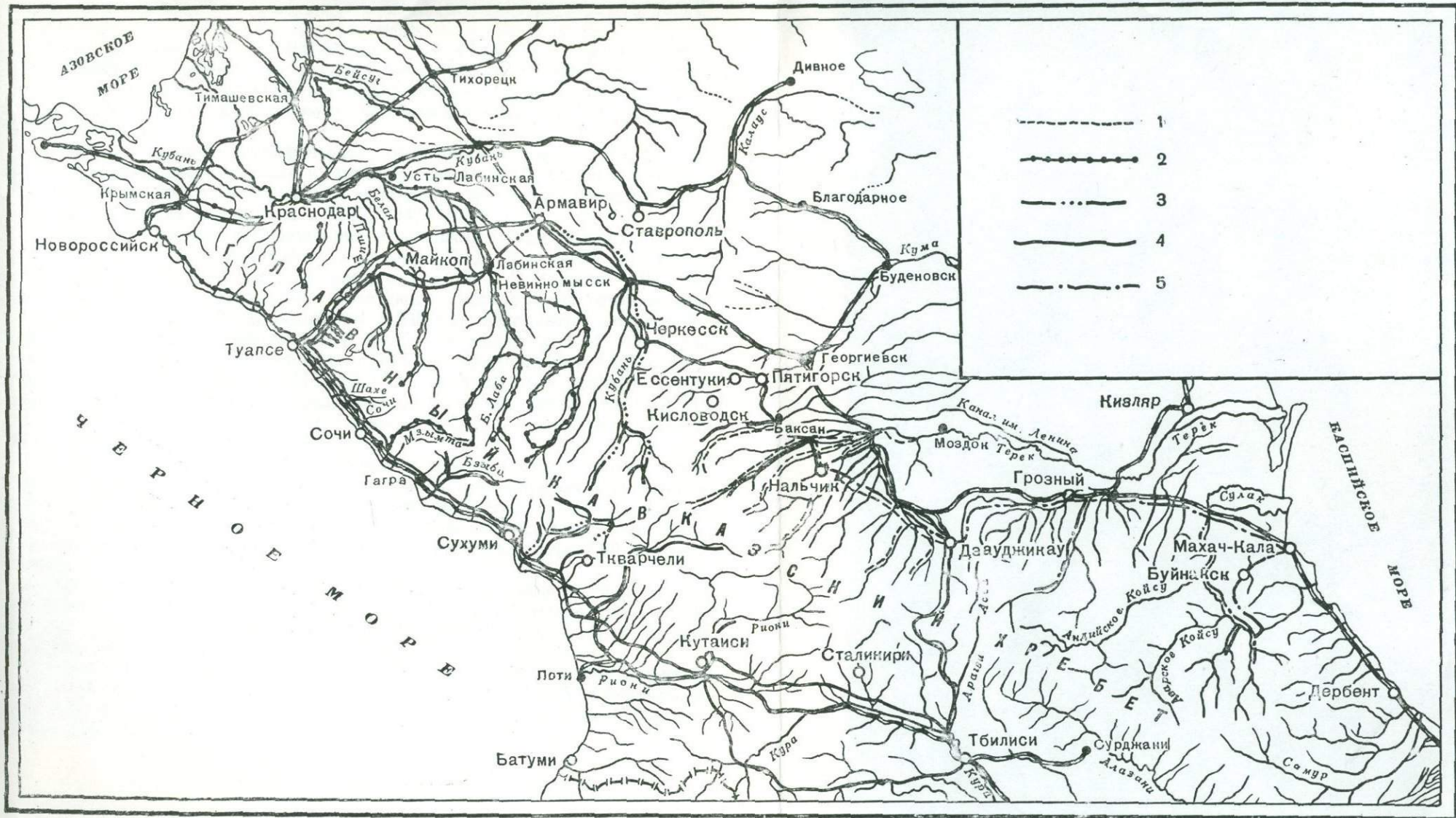
б) условия и некоторые вопросы развития электроэнергетических узлов Баксано—Минераловодского, Дзауджикау—Грозненского, Краснодарского, Сочи—Белореченского и Западно-Грузинского, на базе использования водной энергии горных рек;

в) принципиальные схемы использования местных энергетических ресурсов для электрификации сельского хозяйства некоторых типичных сельских районов.

В процессе исследовательских работ был изучен, на основе специально разработанной авторами методики, ряд принципиальных вопросов, вытекающих из особенностей природных условий горных районов Северного и Западного Кавказа и гидроэнергетических ресурсов его рек. При этом были исследованы принципиальные схемы развития гидроэнергетики и комплексной электрификации сельского хозяйства в районах типа Северного и Западного Кавказа, принципиальные схемы использования энергии горных рек и принципиальные схемы сезонного регулирования энергии ГЭС на горных реках. С особой детальностью были изучены условия эффективности объединения незарегулированных и частично зарегулированных ГЭС на реках Западного Кавказа различного гидрологического режима, для сезонного выравнивания их мощности, и установлены принципиальные схемы использования чаш высокогорных (каровых) озер для устройства гидроэлектрических регуляторов небольшой и средней мощности, с целью сезонного регулирования местных гидроэнергетических систем и отдельных гидроэлектрических установок. Были также изучены условия применения крупных долинных водохранилищ, допускающих перерегулирование стока рек и устройство гидроэлектрических районных регуляторов (ГЭРР) большой мощности, с целью сезонного регулирования электрических систем.

Проведено изучение возможности применения искусственных завалов горных ущелий, при сооружении высоких регулирующих плотин и фильтрующих дамб, эффективности использования энергии ветра, как сезонного регулятора мощных систем ГЭС на реках Западного Кавказа с ледниковым питанием, условий межрайонного объединения отдельных узлов и секций электроэнергетических систем Северного и Западного Кавказа и смежных с ним систем. Изучены также особенности твердого стока некоторых горных рек Северного Кавказа и разработана методика его оценки при расчетах заиления регулирующих водохранилищ путем анализа основных естественных факторов речных бассейнов.

Энергетическими исследованиями с большей или меньшей подробностью были охвачены районы Северного и Западного Кавказа, расположенные на северном склоне к западу от бассейна р. Сулак (включительно) и от р. Ингури — на южном. При этом выборочные рекогносцировки были проведены в бассейнах Терека, Кубани, Сулака, Ингури, Кодори, Бзыби, Мзымты, Шахе, Псезуапсе, Аше и ряда малых рек северного и южного склонов, а также в районах степного Приазовья (фиг. 1).



Фиг. 1. Схема исследований энергетического отряда Кавказской и Черноморской комплексных экспедиций СОПС АН СССР:
 Основные маршруты: 1 — 1939 и 1941 гг.; 2 — 1944 и 1945 гг.; 3 — 1946 г.; 4 — 1947 и 1948 гг.; 5 — 1949 г.

Все полевые и камеральные энергетические исследования 1939—1949 гг., положенные в основу монографии, а также разработка методики изучения гидроэнергетических ресурсов и путей их использования проведены С. В. Клоповым, являвшимся вместе с тем руководителем работ.

Изучение физико-географических особенностей района, характеристика каровых озер, а также выявление зависимостей твердого стока рек от комплекса природных факторов исполнены А. С. Клоповой, участвовавшей в работах экспедиции в 1945, 1947—1949 гг.

В экспедиционных исследованиях в различные годы принимали участие: инженер В. А. Гольштег и техник Т. Е. Чистякова (1939 г.), инженер А. В. Лавров (1941 г.), канд. с.-х. наук А. Г. Захарин (1945 г.), младший научный сотрудник Абхазского научно-исследовательского института геолог Г. М. Васильченко (1946 г.), аспиранты Энергетического сектора АН Грузинской ССР О. Г. Канчавели и Г. Г. Сванидзе (1947 г.), инженер О. И. Зеегофер (1948 г.), младший научный сотрудник Дагестанского филиала АН СССР М. Д. Ахмедов и младший научный сотрудник Морского гидрофизического института АН СССР Е. С. Автономов (1949 г.), а также студенты Г. В. Цыцарин (1946—1947 гг.) и В. Х. Алексеев (1948 г.).

В технико-экономическом обосновании некоторых схем участвовали инженер М. Е. Шутый (расчеты по Шиш-Туапсинскому каскаду) и проф. докт. техн. наук Н. В. Красовский (расчеты по использованию энергии ветра). Редактирование материалов исследований при подготовке их к печати в настоящем сборнике исполнила младший научный сотрудник А. П. Шабарина.

При исследованиях использованы некоторые материалы Гидроэнергопроекта, в значительной части собранные и разработанные при участии и под руководством С. В. Клопова в 1925—1938 гг. и А. С. Клоповой в 1928—1933 гг.

Руководящие указания при проведении исследований были получены от директора Энергетического института академика Г. М. Кржижановского и от руководителя отдела общей энергетики члена-корр. Академии Наук СССР В. И. Вейца.

Кандидат технических наук
С. В. КЛОПОВ

**ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО КАВКАЗА
И УСЛОВИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ДЛЯ РАЗВИТИЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА**

Часть I

ЗНАЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕК СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО КAVKAZA ДЛЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Глава I

ТЕРРИТОРИЯ СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО КAVKAZA И ЕЕ ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Северный Кавказ занимает обширные пространства северных склонов Главного Кавказского хребта, возвышенности и равнины Предкавказья.

Речные системы Кубани, Кумы, Терека, Сулака, Самура и малых речных бассейнов покрывают площадь Северного Кавказа густой сетью рек, несущих свои воды в Азовское и Каспийское моря.

По природным и энергетическим особенностям Северный Кавказ может быть разделен на три части — западную, центральную и восточную.

Западная часть простирается от побережья Азовского моря до водораздела Кубань — Кума.

Центральная часть располагается к востоку от Эльбруса, включая наиболее высокую зону Кавказского хребта. По комплексу физико-географических условий, восточной его границей может считаться водораздел между Терекком и его правым притоком — Сунжей.

Восточная часть включает бассейны правобережных притоков Терека, а также бассейны Сулака, Самура и малых рек Дагестана.

В дальнейшем изложении основное внимание уделяется нами западной и центральной частям Северного Кавказа, а также районам южного склона, расположенным к северо-западу от р. Ингури, которые являлись объектами полевых исследований экспедиции.

Западный Кавказ в этих границах занимает территорию около 100 тыс. км², при протяженности с востока на запад около 400 км и при средней ширине 250 км. Основную часть его площади занимает Краснодарский край, расположенный главным образом на северных склонах Кавказского хребта (бассейн р. Кубани), в степных равнинах Предкавказья (Приазовские степи правобережья Кубани) и частью распространившийся на южные склоны хребта и побережье Черного моря — от Керченского пролива до р. Псоу. Абхазской АССР принадлежит южный склон хребта и Черноморское побережье от р. Псоу до р. Ингури. Земли Черкесской автономной области расположены в долинах рек Кубани, Б. и М. Зеленчуков и Урупа, а земли Адыгейской автономной области — в бассейнах рек Лабы, Белой и некоторых нижних притоков Кубани. Ставропольский край, занимающий обширные территории Ставропольской возвышенности и предкавказских степей, узким языком заходит в горную часть Западного Кавказа по долинам Б. и М. Зеленчуков. Верховья р. Кубани до устья р. Теберды (включительно) входят в состав Клухорского района Грузинской ССР.

В пределах центральной части Северного Кавказа расположены Кабардинская АССР, Северо-Осетинская АССР, районы Грузинской ССР: Земо-Сванетский в верховьях р. Баксан и Казбекский — в верхнем течении р. Терек, а также некоторые районы Ставропольского края.

К восточной части относятся Грозненская область и Дагестанская АССР. Верховья Ассы, Аргуна и Андийского-Койсу расположены в пределах Грузинской ССР.

Естественные и экономические условия различных частей Северного и Западного Кавказа весьма разнообразны. Главный Кавказский хребет — основной фактор, влияющий на этот комплекс условий. Имея максимальные высоты и оледенение в районе между горами Эльбрусом и Казбеком, где многие вершины достигают высоты 4000—5000 м, а некоторые даже превышают 5000 м, гребни и перевалы Главного Кавказского хребта постепенно снижаются к западу и к востоку.

На Западном Кавказе оледенение развито более значительно, чем на Восточном, где сравнительно крупные ледники имеются лишь в бассейне Аргуна.

По своему характеру территория Северного и Западного Кавказа может быть разделена на следующие области, резко отличающиеся друг от друга как по природным условиям, характеру и уровню энергопотребления, так и по запасам водной энергии.

Высокогорная область Кавказского хребта обладает суровым климатом, обильными осадками, почти лишена древесной растительности, но с богатыми пастбищами на склонах гор. К высокогорной области относятся значительные площади обоих (северного и южного) склонов Кавказского хребта. В этой зоне имеются лишь редкие небольшие селения горцев да поселки временного (летние коши, кутаны, туристские и альпинистские базы) или специального (горнопромышленные предприятия и научные станции и т. п.) типа. Высокогорные луга используются для пастбы скота в летние месяцы.

Энергопотребление в высокогорной области незначительно, оно может быть покрыто небольшими ГЭС на малых горных реках, изобилующих потенциальными запасами энергии. При наличии предприятий горной промышленности необходимо сооружение более крупных гидростанций.

К среднегорной области могут быть отнесены: на северном склоне Кавказского хребта полоса между альпийской и степной предгорной областями, шириною до 100 км; на южном склоне — от границ альпийской области до побережья Черного моря.

Так же как и высокогорная, эта область, в большей своей части, не имеет крупных местных потребителей энергии, кроме горнопромышленных предприятий по добыче полезных ископаемых, предприятий по разработке лесных богатств и намечаемой электрификации железных дорог. Эта область обладает основными запасами водной энергии горных рек.

Среднегорная область имеет мягкий климат и хорошую растительность (леса, кустарники и фруктовые заросли). Селения расположены главным образом по долинам многочисленных рек. Основное занятие жителей — лесной и горный промыслы, пчеловодство, садоводство и скотоводство. Земледелие развито в нижней полосе области и на некоторых участках речных террас и пойм.

Предгорная степная область, сливающаяся с равнинными просторами, занимает земли, лежащие к северу и западу от основного горного массива Кавказского хребта. Эта область обладает умеренным климатом, продолжительным вегетационным периодом, крупными селениями и городами. Основное занятие сельских жителей — земледелие. В городах сосредоточены предприятия, главным образом пищевой, местной и легкой промышленности. В ряде районов значительное развитие имеют нефтяная, химическая и горная промышленность.

Предгорная область является главным потребителем энергии на исследуемой территории, но она не везде имеет достаточные запасы водной энергии для покрытия своих потребностей.

Область Черноморского побережья — узкая полоса побережья Черного моря от г. Анапы до устья р. Ингури.¹

Промышленные, портовые и курортные города, селения, санатории и дачи расположены на побережье и по долинам рек прибрежной полосы.

Климат по мере продвижения к юго-западу меняется от умеренного с холодными зимами (особенно сильными в районе Новороссийска) до субтропического на участке Сочи — Ингури.

Энергопотребление области Черноморского побережья, незначительное в прошлом, имеет тенденцию к большому росту, в связи с развитием курортного строительства и предполагаемой электрификацией железной дороги. Особое место в энергопотреблении занимают промышленные районы Новороссийска, Туапсе и Сухуми, а также Сочи-Мацестинский курортный район. Запасы энергии рек побережья распределены неравномерно: в северо-западной части они недостаточны, в юго-восточной весьма велики.

Основным видом энергетических ресурсов во всех областях Северного и Западного Кавказа, кроме крайнего северо-запада, является энергия горных рек. Средняя насыщенность территории гидроэнергией (по среднему многолетнему расходу воды) составляет около 100 квт/км², однако ресурсы водной энергии распределены весьма неравномерно: в отдельных речных бассейнах удельная (отнесенная на 1 км²) потенциальная мощность, или гидроэнергетический модуль, достигает рекордных для СССР величин, в других она близка к минимуму. Так, в бассейнах многоводных, мощных рек Ингури и Кодори средний многолетний гидроэнергетический модуль превышает 500 квт/км², тогда как в бассейнах рек Кубанского правобережья — Бейсуг, Кирпили и других он составляет лишь 0,1—0,2 квт/км².

В ряде районов Северного Кавказа имеются месторождения нефти, естественных горючих газов и ископаемых углей. Ископаемое жидкое топливо не может, однако, рассматриваться как источник питания местных электростанций, а месторождения ископаемых углей используются, в основном, лишь для удовлетворения местных топливных потребностей.

Древесина горных лесов Северного и Западного Кавказа не имеет энергетического значения; лишь для питания малых ТЭС и мобильных двигателей (газогенераторные автомобили и тракторы) могут служить отходы лесопильных предприятий.

В степных сельскохозяйственных районах (например, в Приазовье) энергетическим топливом для малых ТЭС в некоторых случаях могут служить ежегодные отходы растениеводства (солома, стебли и лузга подсолнухов и т. д.), а иногда камыш, крупные массивы которого имеются в поймах рек.

В предгорных и горных районах Северного и Западного Кавказа местами значительной потенциальной мощностью обладает энергия ветра. Максимального значения она достигает на северо-западной оконечности Кавказского хребта, где среднегодовая скорость ветра имеет почти предельную для СССР величину (9 м/сек).

Прибрежные полосы Черноморского и Каспийского побережий обладают значительными запасами энергии волн морского прибоя. Волны прибоя при сильных волнениях (6—7 баллов) достигают высоты

¹ В пределах проведенных исследований.

2—3,5 м и дают удельную потенциальную мощность 15—50 квт на 1 м береговой линии. При умеренных волнениях (4—5 баллов) высота волн составляет 1—1,5 м, а удельная мощность 4,5—7,5 квт/пог. м. Повторяемость умеренных и крупных волнений, по данным наблюдений за шесть лет, на Черном море составляет зимой 75%, а в среднем за год около 50%. Таким образом, при определенных условиях, вероятно, представлялось бы выгодным сочетать использование энергии волн с энергией рек высокогорного питания, которые имеют зимой минимальную мощность.

Глава 2

РЕКИ СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО КАВКАЗА. ИЗУЧЕННОСТЬ И СОСТОЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

На изучаемой части территории Северного и Западного Кавказа расположены следующие речные бассейны:

А. Северный склон Главного Кавказского хребта

I — р. Кубань и ее основные левобережные притоки: реки Теберда, М. Зеленчук и Б. Зеленчук, Уруп, Лаба, Белая, Пшиш, Марта, Псекупс, Афиц, Ходзь, Адагум. Правобережных притоков р. Кубань не имеет, за исключением нескольких малых рек.

II — Приазовье: реки Понура, Кирпили, Бейсуг, Челбас, Ея, Кагальник.

III — р. Кума и ее правый приток р. Подкумок.

IV — р. Терек и его основные притоки: реки Ардон, Белая, Камбилеевка, Урух, Малка, Сунжа.

V — р. Сулак, образующаяся из рек Андийское-Койсу и Аварское-Койсу. Последняя имеет приток Кара-Койсу, в который впадает р. Казикумухское-Койсу.

VI — р. Самур.

VII — малые реки Каспийского побережья.

Б. Южный склон Главного Кавказского хребта

Реки Ингури, Гализга, Моква, Кодори, Келасури, Гумиста, Анпта, Бзыби, Псоу, Мзымта, Хоста, Сочи, Шахе, Псеуапсе, Аше, Туапсе, Нечепсухо, Шапсухо, Пшада, Вулан, Мезыб и ряд других малых рек.

Бассейны рек Северного и Западного Кавказа отличаются чрезвычайной пестротой гидрологических условий, что вызывает значительное разнообразие режима рек и своеобразие их энергетических ресурсов. По гидрологическим особенностям могут быть выделены следующие типичные группы рек.¹

а) Реки с половодьем в теплую часть года и с преобладанием высокогорного ледникового и снегового питания — тип I, альпийский: Кубань (с притоками Тебердой, Б. и М. Зеленчуками, Урупом, Б. и М. Лабами); Терек и все главные реки его бассейна, Сулак и Самур, Ингури и Кодори. Основной сток рек этого типа протекает в летний жаркий период года во время таяния ледников и высокогорных снегов, причем максимальный, постепенно нарастающий пик на р. Кубани и на ее верхних притоках (включая р. Б. Зеленчук), наблюдается в июле, на притоках же с второстепенным высокогорным питанием он сдвигается на июнь (реки Уруп, Б. и М. Лаба), причем здесь возможны также и высокие осенние (дождевые) пики.

¹ С учетом классификации Б. Д. Зайкова [6].

Сдвиг пика паводка с середины на начало лета объясняется снижением абсолютных отметок высокогорных площадей, питающих реку по мере продвижения к западу.

Подобное же положение имеет место в центральном и северо-восточном районах. Ледники и снега наиболее высокой части Главного хребта, питающие реки левобережья Терека (Баксан, Черек, Малка, Чегем), дают максимальный сток в августе. По мере продвижения на восток, где средняя высота хребта постепенно снижается, пик паводка передвигается на июль (Урух, Ардон, Фиагдон, Терек, Асса, Аргун, Сулак) и даже на июнь (некоторые притоки рек Сулака, Самура и др.). Минимальные расходы воды на реках этого типа почти во всех районах Северного и Западного Кавказа имеют место в декабре — марте, при наиболее низких расходах воды в феврале.

б) Реки с весенним половодьем, имеющие второстепенное высокогорное питание — тип II, подальпийский. К рекам этого типа на Северном и Западном Кавказе относятся Кума, Белая (приток Кубани), Мзымта, Псоу, Сочи, Шахе, Бзыби и другие. Эти реки характерны максимальным паводковым пиком весной, вызываемым одновременным таянием снегов и выпадением осадков, и несколькими, часто очень высокими, пиками дождевого происхождения в летне-осенний, а иногда и в зимний периоды.

Минимальные расходы воды на этих реках также имеют место зимой (январь — февраль); однако в зимнюю межень сток их более высок, чем сток рек первой группы.

В группах рек «а» и «б» особо должны быть выделены реки (обычно малые по площадям бассейна и по стоку), полностью расположенные в высокогорных районах. Высокогорные реки (в отличие от рек основных горных) чрезвычайно своеобразны по своему продольному профилю, имея крутую устьевую ступень.

Их бассейны нередко изолируют озерами, значительно регулирующими сток. Характерными примерами рек высокогорного типа на Западном Кавказе могут служить р. Уллу-Муруджу (приток Теберды) и р. Кара-Кая (приток Аксаута); в центральной части Кавказа — р. Адыр-су (приток Баксана).

в) Реки с паводочным режимом горных бассейнов без высокогорного питания — тип III.

1. Реки с резкими паводками в весенний и зимний периоды (возможно несколько пиков, перемежающихся маловодьем) и с длительными летними маловодными периодами, в которых иногда наблюдается полное пересыхание русла (крымский тип, III-а).

Примеры таких рек: Пшиш, Псекупс и малые притоки нижнего течения Кубани.

2. Реки с многочисленными резкими паводковыми пиками во все сезоны года (причерноморский тип, III-б): — Сочи, Пшада, Вулан и другие реки северной части Черноморского побережья и некоторые реки бассейна Кубани, например, Пшеха, Курджипс.

г) Реки с весенним паводком степной предкавказской равнины — тип IV, русский. По характеру стока эти реки близки к рекам средневропейской равнины СССР. Основная часть их стока протекает в виде бурного весеннего паводка и менее интенсивного осеннего. В остальные сезоны года на этих реках имеет место низкая межень со случайными небольшими кратковременными повышениями уровня. Примеры таких рек дают реки Приазовья: Бейсуг и Ея.

д) Реки с паводочным режимом в теплую часть года и с устойчивой меженью в холодную — тип V, северо-кавказский.

Реки этого типа распространены на северном склоне Пастбищного хребта (бассейн Терека), как например р. Камбилеевка.

Гидрографы стока рек различных типов представлены на фиг. 2.

В суммарном речном стоке со всей территории Западного Кавказа основное место занимают реки с ледниковым и смешанным питанием (типы I и II). В крайних западных районах (к западу от линии Сочи—Майкоп) почти весь местный сток относится за счет рек III и IV типов. Сток рек центральной и восточной частей Северного Кавказа в основном формируется за счет рек I типа и в небольшой части за счет рек V типа. Реки русского типа IV имеют наименьший удельный вес в водном балансе Северного и Западного Кавказа.

По потенциальным запасам энергии, реки с участием высокогорного питания (типы I и II), имеющие наибольшее протяжение, наивысшие уклоны и несущие основную часть стока, являются главными и наиболее мощными источниками водной энергии как на Северном, так и на Западном Кавказе, их бассейны обладают около 95% всей потенциальной мощности.

Планомерное изучение и энергетическое использование горных рек Северного и Западного Кавказа начато при советской власти. До революции лишь немногие реки подвергались здесь исследованиям, причем задача их энергетического использования не являлась ведущей. Только в редких случаях проводились изыскания горных рек для постройки на них гидроэлектрических станций. Лишь несколько небольших ГЭС были построены там до революции. Уровень народного хозяйства горных районов не требовал большого развития энергетики, мелкие частные хозяйства обходились примитивной техникой. Малыми водяными мельницами и немногими заводскими гидромеханическими установками почти полностью исчерпывалось на Северном и Западном Кавказе использование водной энергии горных рек.

Большая часть проектно-изыскательских материалов по горным рекам, полученных до революции, оказалась утраченной во время гражданской войны, а сохранившиеся материалы во многом потеряли свое значение.

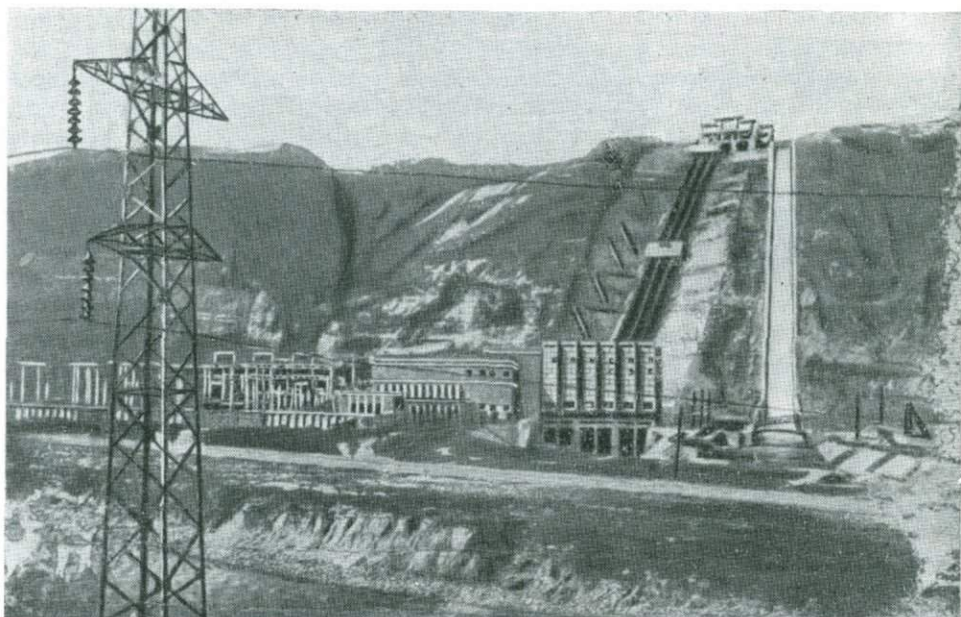
В первые годы после революции изучение гидроэнергетических ресурсов горных рек Северного Кавказа носило выборочный характер. Сплошные исследования рек были начаты лишь в 1927—1928 гг. Гидроэлектростроением и Гидроэлектропроектом, а затем продолжены Гидроэнергетическим проектом; в их задачу входила разработка схем энергетического использования рек и выбор участков для строительства ГЭС. В настоящее время в горных районах Северного и Западного Кавказа почти не осталось белых пятен в области изученности гидроэнергетических ресурсов.

Итогом гидроэнергетических исследований рек Северного и Западного Кавказа, проведенных до 1935 г., явились «Водно-энергетическая схема Северного Кавказа» [2], составленная Северо-Кавказским отделением Гидроэлектропроекта, и «Водно-энергетическая схема Закавказья» [3], составленная Закавказским отделением Гидроэлектропроекта на основе всех проведенных до 1935 г. работ.

Не все горные реки Северного и Западного Кавказа, однако, нашли место в водно-энергетических схемах Гидроэлектропроекта и не всегда предлагаемые схемы имеют рациональное построение с точки зрения современных требований. Стремление к возможному укрупнению отдельных гидроэлектрических установок обычно приводило к игнорированию ГЭС небольшой мощности (менее 5 тыс. квт) и к выпадению из водно-

энергетической схемы (ВЭС) второстепенных малых горных рек, так как лишь в самые последние годы вопросу использования горных рек небольшими установками начали придавать должное значение. В последние годы по некоторым рекам были проведены дополнительные проектно-изыскательские работы, уточнившие их потенциальные ресурсы энергии и схемы использования.

По большинству районов Северного и Западного Кавказа в самые последние годы были разработаны генеральные схемы электрификации сельского хозяйства, в основу которых положено широкое использование энергии малых рек. Эти схемы несколько восполнили имевшие место пробелы в ВЭС Гидроэлектропроекта.



Фиг. 3. Деривационная Баксанская ГЭС.

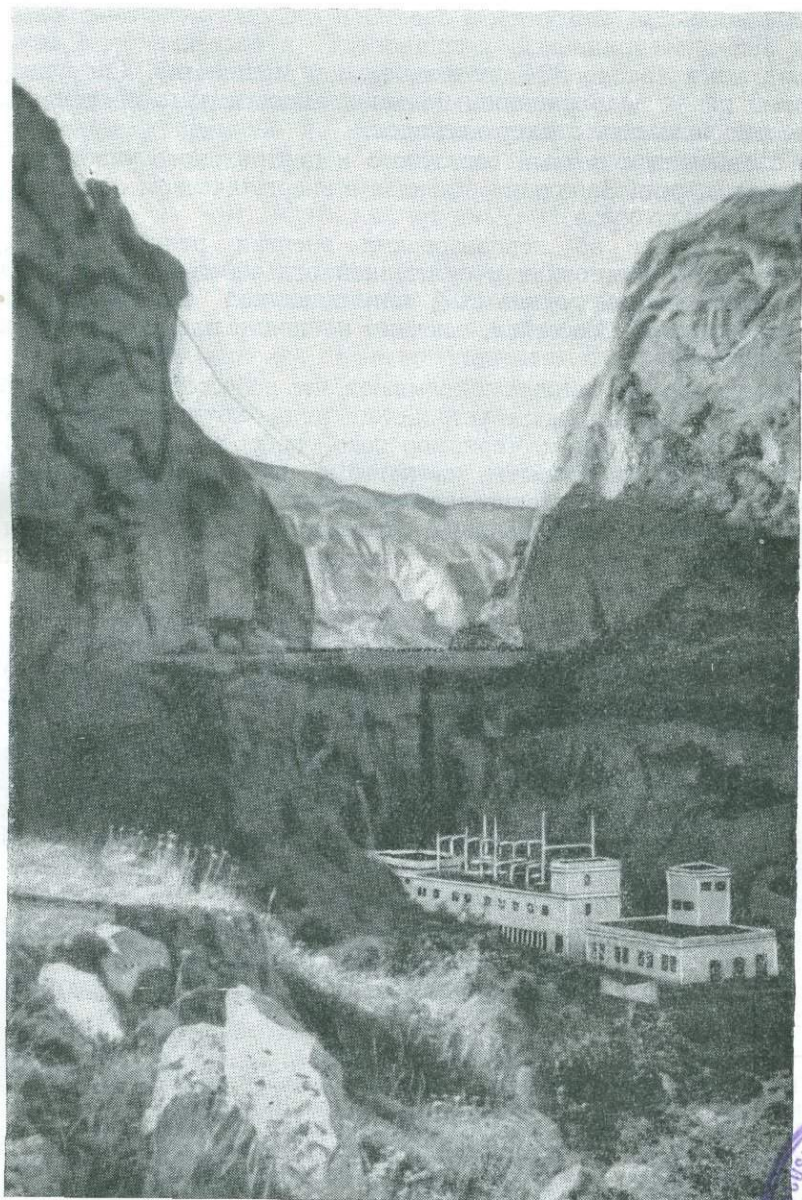
Наименее изучены высокогорные и небольшие предгорные реки, наиболее подробно было проведено исследование основных горных водных артерий и их крупных притоков.

Сток горных рек изучен не с достаточной полнотой, гидрометрическая сеть недостаточно развита, в наблюдениях имеются значительные перерывы, что при проектировании часто заставляет прибегать к необоснованным аналогиям и обобщениям.

Энергетическая изученность различных бассейнов рек Северного и Западного Кавказа неодинакова. Потенциальные ресурсы энергии руслового стока основных горных рек и их главных притоков изучены сравнительно полно — имеются достаточно достоверные данные о их средней годовой мощности и о распределении ее в году, полученные путем инструментальных исследований речных долин и стока рек. Потенциальные ресурсы малых рек разных типов и склонового стока почти не изучены и их подсчет затрудняется отсутствием достаточной сети гидрометрических и метеорологических станций, особенно в высокогорных районах, где колебания величин модуля стока чрезвычайно значительны. Ресурсы энергии склонового стока речных бассейнов могут быть оценены

лишь весьма приближенно, на основе аналогий и косвенных методов, тогда как по ряду данных они составляют более половины (60—70%) всей энергии горных речных бассейнов [16, 19, 27].

Значительно хуже промышленная изученность гидроэнергетических ресурсов. Хотя по большей части основных горных рек могут быть составлены представления о мощностях и типах гидроэлектрических установок на основании водно-энергетических схем, однако достоверность возможности их осуществления, как правило, не подтверждена



Фиг. 4. Приплотинная Гергебильская ГЭС. На заднем плане бетонная плотина высотой около 50 м.



инженерно-геологическими исследованиями, проводившимися лишь по очень малому числу объектов.

Совершенно недостаточно изучены также вопросы сезонного регулирования горных рек, без которого использование их энергии оказывается малоэффективным.

По ориентировочным данным схематического проектирования, при каскадном использовании энергии основных рек бассейна Терека, без устройства крупных водохранилищ, может быть получено 7—8 млрд. квтч в средний по воде год (20—25% потенциальной средней годовой русловой мощности этих рек), в бассейне р. Сулак — до 5—6 млрд. квтч (около 30% потенциальной мощности), в бассейне р. Самур — до 2,5 млрд. квтч (около 30% потенциальной мощности). Сооружение на некоторых реках водохранилищ большой емкости дало бы возможность значительно повысить отдачу каскадов.

По сравнению с реками восточного и центрального участков Северного Кавказа, реки Западного Кавказа в энергетическом отношении изучены значительно хуже.

Предположения об использовании энергии рек бассейна Кубани более чем в 50 установках с суммарной отдачей 5—7 млрд. квтч, что составляет в среднем около 20% потенциальной мощности руслового стока основных рек бассейна, почти не подкреплены геологическими исследованиями.

Предварительные данные показывают, что в бассейне Кубани, повидимому, окажется возможным устройство ряда крупных регулирующих водохранилищ. По рекам Черноморского побережья, за исключением участков Мзымты и Гумисты, на которых построены Краснополянская и Сухумская гидроэлектрические установки, были исполнены лишь рекогносцировочные обследования, установившие схемы разбивки этих рек на ступени энергетического использования, которые хотя и позволяют ориентировочно определить возможные масштабы мощности гидростанций, но отнюдь не могут считаться окончательными. Наиболее существенным выводом проведенных до настоящего времени исследований рек побережья является установленная невозможность существенного сезонного регулирования их стока, что чрезвычайно осложняет использование энергии этих рек.

По данным предварительных схем, при каскадном использовании энергии рек побережья могут быть созданы каскады установок с отдачей в средний год в бассейне р. Ингури до 3,9 млрд. квтч (21% потенциальной мощности)¹, р. Кодори 4,4 млрд. квтч (>50%), р. Бзыби 2,9 млрд. квтч (>50%)², р. Мзымты 0,7—0,8 млрд. квтч (30—35%), р. Шахе 0,25 млрд. квтч (около 25%)³.

Степень изученности остальных рек недостаточна даже для приближенной оценки их возможной промышленной мощности.

Использование энергии горных рек Северного и Западного Кавказа развито слабо.

¹ По данным работы «Крупная гидроэнергетика Грузинской ССР» [23], где рассмотрены девять ГЭС с установленной мощностью 1325 тыс. квт.

² По рекам Кодори и Бзыби указаны данные «Водно-энергетической схемы Закавказья», которые, как показали наши рекогносцировки и сравнение с данными по р. Ингури, являются мало обоснованными и, повидимому, сильно завышенными (не менее, чем вдвое).

³ По рекам Мзымте и Шахе использованы данные «Водно-энергетической схемы Северного Кавказа» [2], требующие значительной корректуры. Более поздние обоснованные данные имеются лишь по отдельным участкам р. Мзымты.

На Северном Кавказе к началу Великой Отечественной войны действовали лишь три ГЭС средней мощности: Баксанская (фиг. 3), Гизельдонская и Гергебильская (фиг. 4) с суммарной установленной мощностью около 50 тыс. квт. Во время войны было начато строительство Дзауджикауской ГЭС (10 тыс. квт), законченное в 1949 г.

Несколько лучше обстояло дело с малыми ГЭС. Их строительство усилилось за годы, предшествовавшие войне. Так, в одной лишь Кабардинской АССР, кроме действовавших 20 малых ГЭС, перед войной была начата постройка еще 22 гидростанций. Значительное количество малых ГЭС было построено также в Северо-Осетинской АССР и в других районах Северного Кавказа. Тяжелые повреждения, нанесенные немецко-фашистскими оккупантами гидроэнергетическому хозяйству Северного Кавказа, полностью ликвидированы.

К настоящему времени на реках восточной и центральной частей Северного Кавказа используется не более 1% их потенциальной русловой мощности. Несколько установок находится в стадии подготовки к строительству, из них наиболее крупные: Чир-Юртская на Сулаке, Эзминская на Тереке.

Использование водной энергии рек Западного Кавказа также далеко не соответствует их потенциальным возможностям. Действующие и строящиеся гидроэлектрические станции на реках Западного Кавказа (Свистухинская, Майкопская, Краснополянская, Сухумская и другие) в сумме используют менее 0,5% их потенциальной мощности. Энергия этих ГЭС будет способна удовлетворять лишь малую долю растущего электропотребления.

Все перечисленные ГЭС на Северном и Западном Кавказе отличаются сезонным непостоянством мощности, причем гарантированный минимум установок не превышает 20—25% их рабочего максимума.

Глава 3

ГЛАВНЕЙШИЕ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ КОМПЛЕКСЕ СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Проведенные в годы советской власти различными проектными и научно-исследовательскими организациями исследования рек Северного и Западного Кавказа позволили выдвинуть и частично осуществить ряд важнейших комплексных водохозяйственных проблем, огромная роль в которых принадлежит гидроэнергетике. К их числу следует отнести как проблемы использования стока горных рек в пределах их долин, так и проблемы, связанные с переброской стока за пределы речных бассейнов с целью наилучшего его энергетического использования или же с целью обводнения и орошения междуречий и обширных равнин Предкавказья. К особой группе относятся проблемы совместного использования источников энергии различных видов, выдвигаемые нами с целью повышения эффективности энергетических установок.

К числу главнейших проблем указанных типов должны быть отнесены:

Проблема использования энергии рек Сулак и Самур

Эта проблема имеет большое значение для создания мощной энергетической базы в восточной части Северного Кавказа, с целью насыщения электроэнергией местных потребителей Дагестанской АССР и передачи излишков в Азербайджанскую электросистему и в Грозненский

узел Северо-Кавказской электросистемы с целью вытеснения энергии ГЭС на жидком топливе. Проблема требует для своего решения устройства ряда крупных ГЭС с регулируемыми водохранилищами в бассейне р. Сулак, где, повидимому, могут быть найдены удобные участки долин для устройства водохранилищ большой емкости. На р. Самур, где такие участки отсутствуют, могут быть сооружены только незарегулированные ГЭС. При исследованиях р. Сулак была подробно изучена в основном лишь схема Черкейской ГЭС, мощностью 350 тыс. квт, для которой проектировалась плотина высотой более 200 м. Принятое в проекте соотношение гарантированной и установленной мощности установки составляет 1:7. Недостаточно хорошие геологические условия створа (сильно трещиноватые известняки) не позволили еще окончательно доказать возможность постройки столь высокой плотины, без которой мощность Черкейской ГЭС оказалась бы подверженной еще более резким сезонным колебаниям.

Схема использования энергии рек бассейна Сулака, разработанная в 1930—1932 гг. Гидроэлектропроектом, не может считаться правильной, так как в ее основу положен принцип создания напора с помощью высоких плотин, не обеспечивающих достаточного сезонного регулирования каскада сулакских установок. Следует пересмотреть схему с учетом возможности получения эффективного регулятора в бассейне Сулака, а также изучить условия борьбы с водной эрозией и с заилением водохранилищ. Важнейшей задачей дальнейших исследований по сулакской проблеме являются поиски надежных створов для высоких плотин, способных создать крупные регулирующие водохранилища в бассейне Сулака. К числу створов, изучение которых должно быть поставлено в первую очередь, следует отнести Ирганайский створ на р. Аварское-Койсу, выбранный Гидроэнергопроектом при изысканиях 1931 г. в 15 км выше ее слияния с р. Андийское-Койсу, а также створ ниже Араканского моста, намеченный нами при рекогносцировке в 1949 г.¹

Регулирование стока р. Сулак, кроме улучшения условий его энергетического использования, позволит снизить паводковые пики в нижнем течении реки. По данным «Водно-энергетической схемы Северного Кавказа» [2], при достаточном объеме Ирганайского водохранилища, мощность каскада ГЭС только на реках Аварское-Койсу и Сулак, ниже сел. Ирганай, могла бы превысить 750 тыс. квт при отдаче более 4 млрд. квтч в шести установках. Проблема сулакских ГЭС приобретает особую важность в связи с необходимостью экономии бакинской и грозненской нефти, с подготовкой создания объединенной Кавказской электроэнергетической системы и с целесообразностью объединения сулакских ГЭС со Сталинградской ГЭС, что позволило бы передавать летние излишки сулакской энергии на север и осуществлять взаимное сезонное и многолетнее регулирование за счет несовпадения режимов стока Сулака и Волги по времени. Изучение этой проблемы должно быть поставлено в ближайшее время.

Проблема комплексного использования вод р. Терек и его притоков с устройством каскадов ГЭС

Важнейшими участниками комплекса при использовании стока р. Терек ниже г. Дзауджикау являются орошение и обводнение земель

¹ В рекогносцировке участвовали С. В. Клопов (руководитель работ), М. Д. Ахмедов (научный сотрудник Дагестанского филиала Академии Наук СССР) и А. С. Клопова.

Терско-Сунженской излучины (Малая Кабарда, Алханчуртская долина), питание водами Терека восточной ветви Манычского канала, орошение части «Черных земель» и борьба с наводнениями в нижней части течения Терека. Существующая сеть ирригационно-обводнительных каналов: Алханчуртского, Плановского, Мало-Кабардинской оросительной системы и других, построенных за годы советской власти, забирает значительные расходы воды и заставляет проектировать режим гидроэлектрических станций с учетом их водопотребления.

Сезонная неравномерность стока Терека, при разрешении проблемы его комплексного использования, делает необходимым особое внимание обратить на годичное регулирование. С этой целью следует до возможных пределов поднять гребень плотины проектируемой Дарьяльской ГЭС; однако полностью зарегулировать эту установку все же окажется невозможным. Надо также продолжить исследования расширений долины в верховьях р. Терек (выше сел. Коби) и в районе Дарг-Кох-Эльхотова, с целью установления условий устройства там регулирующих водохранилищ. Заведомая сложность решения вопроса сезонного регулирования энергии р. Терек заставляет искать различные решения этой наиболее трудной части проблемы. К числу таких решений можно отнести:

- а) устройство регулирующих каскадов ГЭС на притоках Терека,
- б) устройство высокогорных регулирующих установок при горных озерах,
- в) связь мощных гидроэлектрических установок в бассейне Терека с гидростанциями на Нижней Волге.

Из притоков Терека, изученность естественных условий которых позволяет ставить вопрос о создании регулирующих каскадов ГЭС, можно указать лишь реки Ардон и Малку.

На р. Ардон были проведены изыскания, установившие, что плотина высотой около 150 м в верхнем конце Кассарского ущелья позволила бы создать регулирующий каскад гидроэлектрических станций, совместная работа которых с установками на р. Терек дала бы полностью зарегулированную систему мощностью около 450 тыс. квт [2, 24]. Створ плотины, сложенный прочными метаморфическими сланцами с прослойками диабазов и порфиринов, недостаточно изучен. К отрицательным особенностям створа относятся большая глубина наносов в русле реки (около 40 м) и трудность сочетания высокой плотины с вариантом намечаемой по долине р. Ардона трассы транскавказской железной дороги.

На р. Малке, по данным рекогносцировок, имеются условия для сооружения водохранилища в долине Лахран и на его базе регулирующего каскада ГЭС, однако суммарная рабочая мощность малкинских установок невелика — в шести установках она не превысит 65—75 тыс. квт при сравнительно высокой удельной стоимости энергии. Малкинский каскад ГЭС может иметь лишь местное значение. Из прочих рек бассейна Терека значительные расширения долин, удобные по топографическим условиям для устройства регулирующих водохранилищ, имеют Аргун, Асса и Баксан. Условия гидроэнергетического использования Аргуна и Ассы изучены слабо, что же касается Баксана — экономические показатели высоких плотин для его сезонного регулирования, по предварительным данным, слишком неблагоприятны [10].

Устройство регулирующих гидроэлектрических установок при высокогорных озерах в бассейне Терека возможно лишь в виде исключений, так как такие озера являются здесь большой редкостью (в отличие от бассейна Кубани). Схема озерных регулирующих ГЭС данного типа,

подробно рассматриваемая далее, предполагает использование под весьма большими напорами малых объемов высокогорного стока, регулируемого в искусственно подпираемых чашах озер карового, вулканического или тектонического происхождения. В бассейне Терека нами выявлены две подобные установки: Сылтранская — в верховьях р. Баксан и Верхне-Черекская — при оз. Гий-Баш-Кель. Каждая из них способна дать около 100 млн. квтч регулирующей энергии в зимний сезон.

Высоковольтная связь гидростанций в бассейне Терека и установок на Нижней Волге, удаленных друг от друга на 500—600 км, окажется возможной при развитии дальних линий электропередачи высокого напряжения и создании единой высоковольтной сети СССР. Объединение ГЭС на реках ледникового (Терек) и неледникового (Волга) питания, как будет показано далее, значительно улучшит условия и полноту использования стока рек обоих типов и надежность электроснабжения.

Проблема комплексного использования стока бассейна Кубани

Удовлетворение комплекса потребителей стока Кубани (обводнение, ирригация, гидроэнергетика, водный транспорт, рыбоводство) возможно лишь при условии регулирования стока.

К 1948 г. была закончена первая очередь сооружения Невинномысского канала, назначением которого является обводнение и орошение западной части Ставрополя и питание западного участка Манычского водного пути. Указанная задача технически решается переброской кубанских вод в р. Егорлык, принадлежащую к бассейну Западного Маныча. Невинномысский канал будет забирать из Кубани почти весь сток ее в бытовом, незарегулированном состоянии, при пропускной способности канала 75 м³/сек. Невинномысский канал и обводненный им Егорлык могут быть энергетически использованы в ряде ступеней гидростанций. Из них уже построена Свистухинская ГЭС и намечена к строительству Сенгилеевская ГЭС.

Задача обводнения Ставрополя не может считаться полностью решенной с проведением Невинномысского канала, так как последний, по своему высотному положению, командует лишь над западными массивами Ставрополя. Обводнительно-оросительные мелиорации для восточной части Ставрополя площадью свыше 3 млн. га могут быть осуществлены лишь на основе переброски вод р. Кубани в р. Калаус. При самоотечном варианте подачи воды в восточное Ставрополье из Кубани, водозабор должен быть расположен несколько выше устья р. Джегуты, правобережного притока Кубани; подача с подкачкой возможна в районе Невинномысской. Таким образом, при всех вариантах водозабора, участок течения Кубани от Невинномысской до устья р. Лабы окажется весьма обезвоженным и лишенным энергетического значения, так как выпадающая в Кубань на этом участке р. Уруп не обладает большим стоком.

Стоком Кубани может быть обводнена также и северная засушливая часть Краснодарского края — район степного Приазовья, не имеющий достаточных водных ресурсов. Для удовлетворения всех потребителей необходимо изъять из Кубани в маловодный год до 85 % стока в створе Невинномысской, что соответствует 40 % стока в створе у Краснодара.

Столь значительный отъем воды не повлечет существенно на водный баланс низовья Кубани.

В водном хозяйстве участка Кубани ниже Краснодара основными компонентами комплекса являются водный транспорт, рисосеяние, борьба с паводковыми водами и рыбное хозяйство.

Регулярное судоходство на Кубани поддерживается лишь на участке ниже Краснодара. Длина навигационного периода составляет около 300 дней в году. Снижение судоходных глубин скажется уже после осуществления Невинномысского канала и значительно возрастет при проведении дальнейших обводнительных мероприятий. Наиболее сильным окажется влияние отъема стока из Кубани для питания каналов Ставрополя на судоходные глубины реки в осенние месяцы (до ледостава) и ранней весной. Компенсировать ущерб, наносимый судоходству, можно или шлюзованием Кубани или регулированием ее стока. Регулирование стока Кубани комплексно хорошо увязывается с другими основными водохозяйственными мероприятиями — энергетикой и обводнением, а также ослабит паводки в низовьях Кубани, тем более, что избыточные расходы воды Кубани в летние месяцы, приносящие народному хозяйству Краснодарского края многомиллионные убытки, без ущерба для судоходства могут быть аккумулированы водохранилищами.

Для борьбы с паводками в низовьях Кубани перед войной было построено Тщикское водохранилище в низовьях р. Белой, объемом около 400 млн. м³. Кроме того, проектируется Ладожское водохранилище на Кубани выше устья р. Лабы, емкостью 450 млн. м³. Специфичность режима наполнения и сработки Тщикского и Ладожского водохранилищ неблагоприятны для сооружения при них ГЭС.

Таким образом, нижняя половина течения Кубани (вниз от Невинномысской) не имеет существенного энергетического значения. Крупнейшее энергетическое значение может иметь использование стока верхней половины течения Кубани, а особенно ее некоторых притоков (Белой, Лабы и др.), при условии сооружения на них водохранилищ большой емкости и сочетания энергии рек разного гидрологического режима. Первоочередной задачей является продолжение начатого энергетического освоения р. Белой, в верховьях которой может быть сооружено крупное Хамышинское водохранилище, способное перерегулировать сток реки и создать регулирующий каскад установок. Хорошо изученные геологические условия гранитного створа плотины допускают подпор свыше 100 м.

Регулирование действующих, строящихся и проектируемых ГЭС первой очереди в Краснодарском крае (на Белой и Мзымте) может быть исполнено путем использования стока сравнительно небольших рек Пшиш и Пшеха (имеющих иной гидрологический режим, нежели Белая и Мзымта), при условии переброски стока этих рек в смежный бассейн р. Туапсе. Схема Пшиш-Туапсинских ГЭС, имеющая принципиальный характер, далее рассматривается подробно.

Задачами последующих очередей должно явиться энергетическое использование стока р. Лабы, в верховьях которой, по данным рекогносцировок, также имеются условия для создания крупного регулятора стока — Загеданского водохранилища, а затем самой Кубани и Б. Зеленчука, долины которых обладают значительными расширениями (Эльбрусское, Аманхитское, Беломечетское, Архызское).

В результате рационального энергетического использования рек бассейна Кубани может быть создана весьма мощная энергетическая база, значение которой далеко выйдет за рамки бассейна, если окажется возможным создание хотя бы двух-трех крупных водохранилищ из числа упомянутых. Кубанская электроэнергетическая система явится при этом связующим звеном между электроэнергетическими системами Закавказья и юга России.

В условиях бассейна Кубани возможно широкое использование чаш высокогорных озер для устройства сезонных регулирующих установок средней мощности. Особо благоприятны для таких ГЭС долины в верховьях Кубани, Теберды, Б. Зеленчука, Б. Лабы.

Таким образом, основным вопросом комплексного использования водных ресурсов Кубани является регулирование стока. Без регулирования стока невозможно согласовать интересы обводнения, водного транспорта и борьбы с паводковыми водами в низовьях рек; без регулирования стока энергетическое использование Кубани и ее притоков окажется малоэффективным.

Проблема использования энергии рек Черноморского побережья Западного Кавказа — Ингури, Кодори, Бзыби и др.

Реки Черноморского побережья — Ингури, Кодори, Бзыби — обладают большими запасами водной энергии, пока не используемыми. Изученность возможных схем гидроэнергетического использования этих рек далеко недостаточна. Вместе с тем, рост электропотребления в Закавказских республиках уже за пределами ближайших пятилеток не обеспечивается энергетическими ресурсами рек бассейнов Куры и Риони, использование которых осуществляется и развивается. Очевидна необходимость тщательного изучения гидроэнергетических возможностей рассматриваемых рек и выявления рациональных схем их использования.

Основной трудностью решения проблемы является, повидимому, невозможность по природным условиям регулирования стока этих рек, имеющих весьма непостоянный режим и неблагоприятные топографические условия. Эффективное энергетическое использование рек побережья возможно лишь при их сочетании с другими, регулируемыми, источниками энергии. К числу таковых, помимо ограниченных возможностей на реках Грузии, в том числе с использованием высокогорных озер, могут быть отнесены ГЭС в бассейне р. Кубани, если будет доказана возможность устройства упомянутых выше водохранилищ. Регулирующим источником могла бы в дальнейшем служить также энергия ветра западной оконечности Кавказа (Маркотхский хребет).

Проблема использования энергии ветра Маркотхского хребта (район Новороссийск — Геленджик)

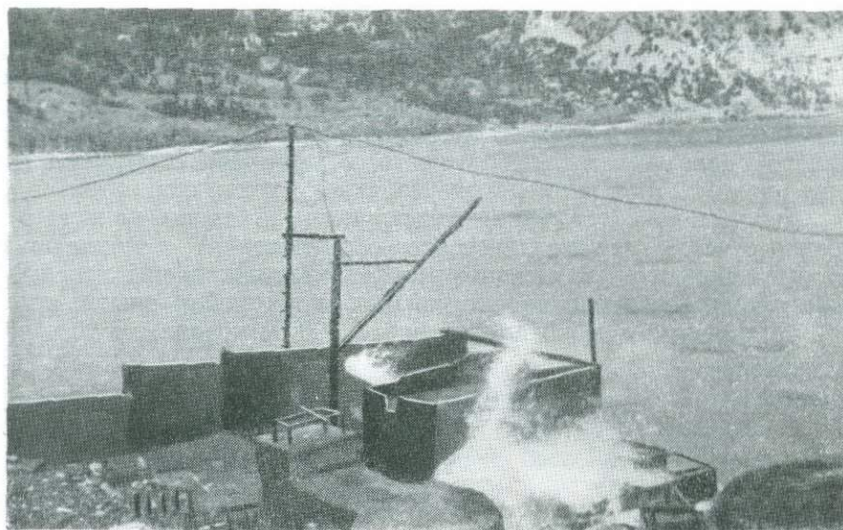
При изучении вопроса о регулировании энергии электроэнергетических систем Западного Кавказа не могут быть оставлены без внимания особые условия ветрового режима рассматриваемого района.

Западная оконечность Главного Кавказского хребта отличается ветрами большой силы. Средняя многолетняя скорость ветра на Маркотхском перевале, у Новороссийска, при большом постоянстве ветров, достигает 9 м/сек, уступая по силе лишь ветрам арктического побережья и некоторых тихоокеанских островов СССР. Распределение силы ветров Маркотхского хребта по месяцам выгодно не совпадает с распределением стока рек ледникового питания. Летом (май — август), когда ледниковые реки многоводны, ветры Маркотха имеют средние месячные скорости 6,4—7,5 м/сек. Осенью и зимою, в периоды малых расходов воды в горных реках, среднемесячные скорости ветров на Маркотхском хребте достигают максимума (11 м/сек). Таким образом, зимняя потенциальная мощность ветрового потока, зависящая от скорости ветра в третьей степени, в три-пять раз больше, чем его летняя мощность. При совместной работе ГЭС на незарегулированном стоке ледниковых

рек Кавказа и ВЭС на Маркотхском хребте в общую электрическую сеть может быть достигнут значительный взаимный регулирующий энергетический эффект и получен более или менее ровный годовой график отдачи системы.

Основным затруднением при подобном использовании энергии ветра является отсутствие освоенных конструктивных схем ветроэлектрических установок значительной мощности. В первую очередь поэтому следует изучить работу ВЭС мощностью в 500—1000 квт на опытных установках конструкции советских инженеров.

До освоения более крупных ветросиловых установок уже сейчас следует приступить к использованию энергии ветра в районах Западного



Фиг. 5. Модель морской волновой установки (г. Симеиз. Черноморское отделение Морского гидрофизического института Академии Наук СССР).

Кавказа механическими и электрическими установками небольшой мощности в сочетаниях с гидростанциями для нужд сельского хозяйства и в сочетаниях с местными тепловыми электростанциями, что приведет к экономии топлива.

Проблема использования энергии ветра Маркотхского хребта имеет не только энергетическое значение.

Норд-осты (бора) в районе Новороссийска, вызываемые резкой разницей зимних температур воздуха в долинах северного склона хребта и на побережье, приносят ежегодно большие бедствия населению Новороссийского района, вызывают аварии морских судов, осложняют работу порта и т. д. Борьба с вредным действием боры является поэтому важнейшим делом для всего народного хозяйства участка Новороссийск—Геленджик; она должна проводиться как комплексное мероприятие с одновременным использованием энергии ветра.

Краткая характеристика важнейших комплексных и гидроэнергетических проблем Северного и Западного Кавказа с очевидностью показывает огромное значение регулирования стока рек для всех водопользователей. Ни одна из проблем не может быть решена без сооружения крупных регулирующих водохранилищ. Важность регулирования стока для

гидроэнергетики будет в дальнейшем еще более отчетливо показана при характеристике гидроэнергетических ресурсов Северного и Западного Кавказа. Проблеме регулирования стока и энергии рек исследуемого района далее уделяется особое внимание.

К числу новых вопросов, разработку которых следует поставить в дальнейшем, относится использование энергии волн морского прибоя по схеме Е. С. Автономова (Морской гидрофизический институт Академии Наук СССР), совмещаемое с укреплением берега моря путем устройства особых гребенчатых дамб, ограничивающих береговые бассейны — водоемы, в дно которых вмонтированы турбины (фиг. 5). По энергетическому режиму волновые ГЭС, имеющие максимум мощности в осенне-зимний период, повидимому, могли бы хорошо сочетаться с установками на реках высокогорного питания, но, вследствие непостоянства энергии волн, требуют участия аккумулирующих установок. Мощность, снимаемая с 1 пог. м дамбы, по предварительным данным, может составить 2—4 квт. Значительная длина береговой линии Черного моря, нуждающаяся в берего-укрепительных работах в пределах исследуемой части Западного Кавказа, исчисляемая многими десятками километров могла бы дать, в результате применения указанной схемы, сравнительно большую установленную мощность. Конструктивные схемы волновых ГЭС (особенно в части гидромеханического оборудования), а также их энергоэкономические и эксплуатационные характеристики еще неясны. Они должны выясниться после проектирования и постройки опытно-промышленной установки с дамбой длиной около 300 м, предлагаемой в районе Сочи — Хоста.

Часть II

ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО КAVKAZA

Глава I

ПРИРОДНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕСУРСОВ ВОДНОЙ ЭНЕРГИИ СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО КAVKAZA И МЕТОДИКА ИХ УЧЕТА

По типу поверхности и расположению водосборных бассейнов горные реки Северного и Западного Кавказа могут быть разделены на высокогорные, основные горные и предгорные (и среднегорные).

Высокогорные реки имеют преобладающее ледниковое питание, протекают на всем протяжении на больших абсолютных отметках (более 1000—1500 м) и впадают в главную, основную горную реку в пределах горной части ее течения.

Основные горные реки имеют преобладающее или второстепенное ледниковое питание и протекают в горных районах. Эти реки могут иметь устьевые участки далеко за пределами горных долин на предгорной равнине.

Предгорные (и среднегорные) реки имеют питающий водосборный веер на склонах средневысотных гор, но протекают в основном в предгорных возвышенностях и по предгорной равнине.

Климатические условия высокогорных бассейнов суровы и, даже на южных склонах Кавказа, приближаются к условиям климата высоких широт — короткое лето сменяется здесь продолжительной зимой, с мощным снеговым покровом. Модуль стока часто достигает предельно высоких величин.

Средние уклоны русел высокогорных рек Кавказа нередко значительно превосходят 0,1. Крутизна и безлесность склонов гор, покрытых рыхлыми продуктами разрушения горных пород, при высоком значении коэффициента стока часто являются причиной образования селевых потоков. Селевые явления особенно распространены в восточной части Северного Кавказа (бассейны рек Дагестана и р. Терека). В верхней части течения высокогорной реки нередко наблюдаются расширенные троговые долины, закрытые снизу моренными грядами с промытым в них узким современным руслом.

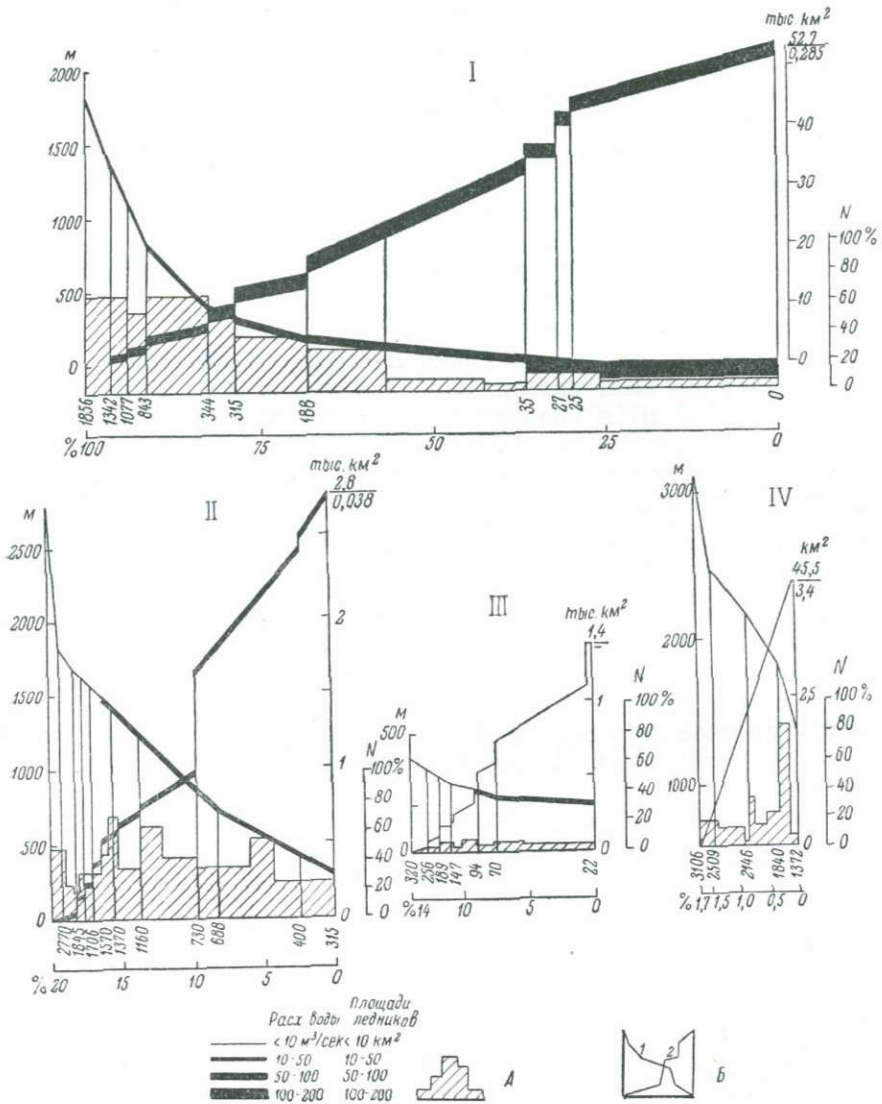
В таких котловинах талые ледниковые воды часто образуют моренные озера, например, оз. Туманлы-Кель, на р. Гоначхир, оз. Кардывач, на р. Мзымте и другие.

Более распространен в бассейнах высокогорных рек Северного и, особенно, Западного Кавказа каровый тип озер. Эти озера — следы древних ледников, рассеяны на больших высотах склонов гор, как, например, оз. Сылтран-Кель в верховьях реки Баксан и оз. Окро-Цкали в бассейне р. Ингури и расположены высоко над дном долин.

Характерной особенностью высокогорных рек является наличие крутых устьевых ступеней.

Тектонические нарушения в сочетании с эрозией нередко вызывают в высокогорных районах мощные обрушения склонов, создающие естественные запруды рек и завальные озера. Примерами таких озер служат

озера Амтхел и Рица на южном склоне Кавказа, имеющие огромные глубины и некоторые из Бадукских озер на северном. Примеры высокогорных рек дают многочисленные притоки основных горных рек Северного и Западного Кавказа (например, р. Уллу-Муруджу в бассейне



Фиг. 6. Характеристика типичных рек Западного Кавказа, бассейн Кубани:

I — основная горная река (Кубань); II — основная горная река (Б. Зеленчук); III — предгорная река (Пескупс); IV — высокогорная река (Уллу-Муруджу).
 А — потенциальная километрическая мощность тыс. квт/км. Б. 1 — продольный профиль и расходы воды; 2 — нарастание площадей бассейна (числитель) и площадей ледников (знаменатель); N — мощность.

Теберды, р. Б. Марка в бассейне М. Зеленчука, р. Сылтран-су и р. Адыр-су в бассейне Баксана и т. д.).

Основными горными реками на Северном и Западном Кавказе являются: Терек, Малка, Баксан, Черек, Чегем, Сулак, Самур, Кубань, Лаба, Белая и ряд других рек бассейнов Терека, Кубани и Сулака, реки

Ингури, Кодори, Бзыби, Мзымта и т. д. На фиг. 6 приведены продольные профили рек бассейна Кубани и даны графики, характеризующие их оледенение, сток и энергетические ресурсы.

Предгорные (и среднегорные) реки могут иметь самую разнообразную длину, в зависимости от расположения их базиса эрозии — от десятков (например, реки Курджипс, Нальчик и др.) до сотен километров (Кума, Сунжа и т. д.). К рекам этого типа на Северном и Западном Кавказе относятся также Подкумок, Камбилеевка, Пшеха, Пшиш, Псекупс, Афицпс и т. д. По своим средним уклонам предгорные и среднегорные реки напоминают основные горные реки.

В табл. 1 даны примерные показатели рек разных типов.

Таблица 1

Характерные показатели рек различных типов на Северном и Западном Кавказе

Тип и название реки	Длина (в км)	Площадь бассейна (в км ²)	Абс. отм. (в м)		Уклоны (в %)		Коэффициент теоретической мощности (z)
			исток	устье	максимальный	средний	
Высокогорные:							
Уллу-Муруджу	15,8	46	3100	1371	>35	11,0	0,50
Гоначхир	21,5	150	2700	1444	>25	5,8	0,35
Адыр-су	15,0	128	2420	1506	>15	6,1	—
Основные горные:							
Баксан	161,0	6800	2345	191	>10	1,3	0,50
Б. Зеленчук	185,0	2900	2770	315	> 2	1,3	0,34
Малка	210,0	5650	3050	171	>10	1,4	0,61
Предгорные и среднегорные:							
Псекупс	127,5	1120	320	22,5	> 1	0,24	0,32
Подкумок	155,0	2190	2002	224	> 6	1,15	0,27
Курджипс	84,0	755	1980	203	> 7	1,78	0,25

Коэффициент теоретической мощности реки (по С. В. Григорьеву) равен $\alpha_{\text{мощи}} = \frac{N_{\text{ср}}}{N_{\text{пр}}}$, где $N_{\text{ср}}$ — потенциальная русловая мощность реки, а $N_{\text{р}}$ — ее предельная потенциальная мощность, равная $9,8Q_{\text{зам}}h$.

В соответствии с установленной нами методикой учета ресурсов энергии горных рек [19], на Северном и Западном Кавказе могут быть выделены следующие зоны энергетических ресурсов:

I — зона высокогорного стока (речной и склоновый сток);

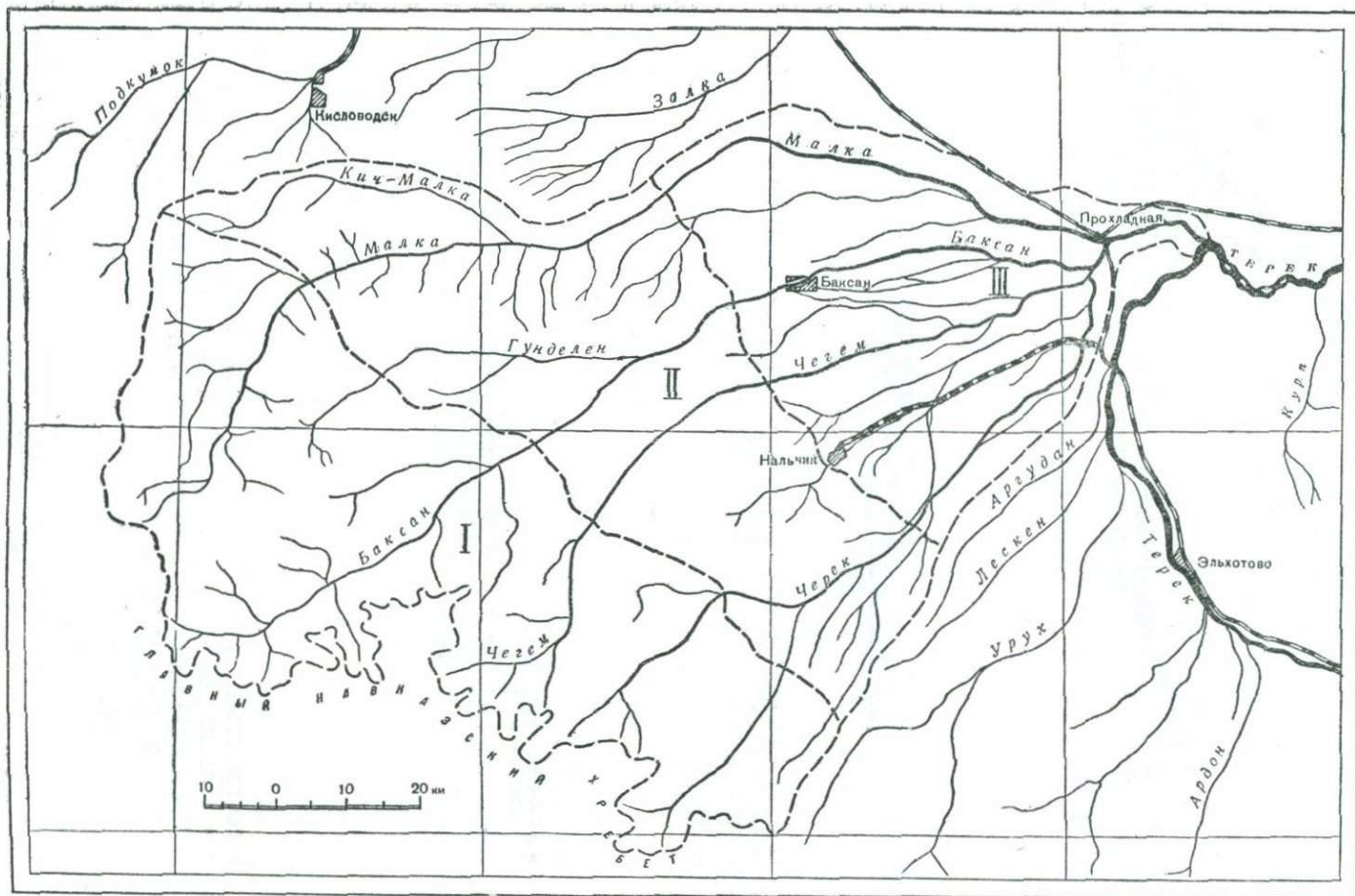
II — зона предгорного стока без ледникового питания (речной и склоновый сток);

III — зона устьевая распределительного веера.

Кроме того, должна быть выделена зона долин основных горных рек.

Примерное зональное районирование гидроэнергетических ресурсов горных рек, проведенное для типичного в условиях центральной части Северного Кавказа горного бассейна р. Малки, показано на фиг. 7.

Потенциальная суммарная мощность, расходуемая на эрозионную деятельность водами всего бассейна реки, может быть подсчитана, как это предлагает Н. А. Григорович [4], путем определения элементарных



Фиг. 7. Зоны гидроэнергетических ресурсов бассейна р. Малки:

I — высокогорная; II — предгорная (среднегорная); III — устьевая. Зона основных горных рек — долины рек Малка, Баксан, Чегем, Черек, Урух.

расходов воды, стекающей с малых площадок водосборного бассейна (dF) и высот их падения в пределах бассейна h (в м), с применением формулы:

$$N = 0,00981 \int h m dF \text{ кВт} \quad (1)$$

или же:

$$N = 9,81 Q_{\text{зам}} \cdot h_{\text{ср. взв}}, \quad (2)$$

где расход воды в замыкающем створе бассейна

$$Q_{\text{зам}} = \frac{1}{1000} \int m dF = \frac{m_{\text{ср}}}{1000} F.$$

При отсутствии карты изолиний модулей стока, автор способа предлагает вычислять эпюры дифференциальных мощностей $\frac{dN}{dF} = f(F)$ путем построения высотных характеристик бассейна $F = f(H)$ — (гипсометрические кривые) и эпюр дифференциальных модулей стока $m = f(F)$ и перемножения их ординат.

При этом для построения эпюры дифференциальных модулей стока предлагается пользоваться данными о модулях стока для точек бассейнов, лежащих выше и ниже изучаемых площадей по абсолютным отметкам, и принимать линейную зависимость величины модуля стока от абсолютной отметки.

При отсутствии карты бассейна в горизонталях аналогичный способ построения предлагается и для гипсометрической кривой, которая также заменяется прямой линией.

Исследования, проведенные нами по бассейну р. Баксан, установили, что эти допущения ведут к весьма большим ошибкам и поэтому не могут быть рекомендованы для горных бассейнов. Порядок величины ошибки от замены гипсометрической кривой и кривой $m = f(F)$ прямыми линиями, при определении кадастровой мощности площади бассейна, дает пример бассейна р. Баксан, где потенциальная мощность, определенная по прямолинейным эпюрам, оказывается завышенной в два с половиной раза.

Русловые запасы энергии речных бассейнов Северного и Западного Кавказа определены разбивкой речных потоков на ряд участков с характерными уклонами и расходами воды, подсчетом мощностей потоков в пределах этих участков и их последующим суммированием при помощи формулы:

$$N = 9,81 \sum_{H_{\text{устья}}^{H_{\text{истока}}}} \frac{Q_1 + Q_2}{2} \Delta H,$$

где Q_1 и Q_2 — расходы воды в начале и в конце участка реки, имеющего падение ΔH .

Разбивка рек на участки произведена с учетом колебания уклона русла и нарастания расходов воды реки.

Для характеристики распределения мощности по длине рек Северного и Западного Кавказа применено понятие удельной мощности

$$n = \frac{N}{L} \text{ кВт/пог. км},$$

где L — длина участка реки, имеющего мощность N квт. Степень насыщенности территории водной энергией характеризуется при помощи гидроэнергетического модуля:

$$M_{\text{Э}} = \frac{N}{F} \text{ квт/км}^2,$$

где F — площадь территории, на которой протекают реки, имеющие мощность N квт.

Для приближенной оценки мощностей малых горных рек Северного и Западного Кавказа применен метод базисных бассейнов, основанный на физико-географических аналогиях неизученных бассейнов малых рек с бассейнами энергетически изученными [18, 19].

В качестве измерителя использован гидроэнергетический модуль, определяющий удельную мощность базисного бассейна реки на единицу его площади:

$$M_{\text{Э}} = \frac{N_{\text{баз}}}{F_{\text{баз}}} \text{ квт/км}^2,$$

где $N_{\text{баз}}$ — мощность базисного бассейна в квт, а $F_{\text{баз}}$ — его площадь в км². Подсчет потенциальной мощности исследуемых площадей произведен по формуле: $N = M_{\text{Э}} \frac{m_x}{m_{\text{баз}}} F$, где m_x и $m_{\text{баз}}$ — средние модули стока исследуемого и базисного бассейнов.

При подсчете промышленных гидроэнергетических ресурсов рек Северного и Западного Кавказа по некоторым рекам могут быть использованы данные водно-энергетических схем (ВЭС) Северного Кавказа и Закавказья [2, 3] и более поздние проектные данные. Однако по многим бассейнам эти материалы не охватывают полностью всего течения основных горных рек, по второстепенным же и по малым рекам, как правило, вообще отсутствуют проектные данные. Таким образом, определение промышленной мощности ряда рек Северного и Западного Кавказа может быть проведено лишь косвенными методами, путем введения поправок в значение потенциальной их мощности. Для этой цели использованы поправочные коэффициенты, учитывающие неполноту использования стока $\eta_{\text{С}}$, падения реки $\eta_{\text{Н}}$ и энергии (мощности) реки $\eta_{\text{Э}}$. Суммарная поправка для перехода от потенциальной к промышленной мощности реки (по Т. Л. Золотареву — «Гидроэнергетика», 1950 г.):

$$\eta_{\text{пром}} = \eta_{\text{пр}} \eta_{\text{ст}} \eta_{\text{сист}},$$

где

$$\eta_{\text{пр}} = (\eta_{\text{пр}})_{\text{Q}} (\eta_{\text{пр}})_{\text{H}} (\eta_{\text{пр}})_{\text{N}},$$

$$\eta_{\text{ст}} = (\eta_{\text{ст}})_{\text{Q}} (\eta_{\text{ст}})_{\text{H}} (\eta_{\text{ст}})_{\text{N}},$$

$$\eta_{\text{сист}} = (\eta_{\text{сист}})_{\text{Q}} (\eta_{\text{сист}})_{\text{H}} (\eta_{\text{сист}})_{\text{N}}.$$

Наибольшее значение при определении $\eta_{\text{пром}}$ имеет проектный поправочный коэффициент, зависящий в весьма сильной степени как от природных условий речного бассейна, так и от схемы использования энергии рек.

Стационарный ($\eta_{\text{ст}}$) и системный ($\eta_{\text{сист}}$) коэффициенты, учитывающие потери на ГЭС по условиям эксплуатации и потери за счет неполноты потребления вырабатываемой установками энергии, в малой сте-

пени зависят от местных природных условий и имеют большее постоянство, чем проектный коэффициент, включающий гидрологическую поправку $(\gamma_{пр})_Q$, топографическую поправку $(\eta_{пр})_H$ и инженерную поправку $(\gamma_{пр})_H$.

Гидрологическая поправка $(\gamma_{пр})_Q$ зависит от полноты использования речного стока гидроэлектрическими установками без годовичного или хотя бы без частичного сезонного регулирования, так как на большей части рек Северного и Западного Кавказа устройство водохранилищ необходимой емкости оказывается невозможным. Эта поправка имеет особое значение при использовании энергии рек гидросиловыми установками небольшой и малой мощности.

Для основных горных и высокогорных рек Северного и Западного Кавказа, в питании которых существенным фактором является ледниковый и высокогорный снеговой сток, соотношение между минимальными среднемесячными и средними многолетними расходами воды составляет от 0,14 (реки Гоначхир, Чегем) до 0,40 (реки Малка, Фиагдон). Колебание $(\eta_{пр})_Q$ в таких значительных пределах зависит от удельного веса грунтового питания. Наиболее крупные реки Терек, Кубань, Сулак, Ингури, Кодори обычно имеют среднее, между приведенными крайними, значение гидрологической поправки — 0,25—0,35.

Влияние гидрологической поправки на величину мощности у основных горных рек уменьшается по мере продвижения вниз по течению реки. Так, для р. Ардон в гидрометрическом створе Нижний Заромаг гидрологическая поправка имеет значение 0,22, а для створа Тамиск — 0,26; для р. Терек гидрологическая поправка в створе Дзауджикау равна 0,31, в створе ст. Черная—0,40 и в створе Амираджи-юрт—0,42; для р. Кубань поправка постепенно снижается от 0,15 (верховья реки) до 0,58 у Краснодара. Закономерное снижение влияния гидрологической поправки от истоков к устью реки, а следовательно, повышение обеспеченных расходов воды может быть объяснено сдвигом маловодных фаз у притоков основных горных рек, по отношению к этим последним, вследствие неоднородного характера их питания. Так как в маловодные зимние периоды расходы воды имеют значительную устойчивость, промышленная мощность (95%) обеспеченности у рек рассматриваемого типа обычно сравнительно мало (лишь на 10—15%) отличается от промышленной мощности, исчисленной по минимальному среднему месячному расходу воды и лишь в исключительные годы различие достигает 50%.

Для рек неледникового и смешанного питания гидрологическая поправка обычно (за исключением рек крайнего запада) имеет меньшее влияние на величину мощности, чем для основных горных и высокогорных рек с преобладанием ледникового питания.

Так, в бассейне Терека для р. Камбилеевка (Ольгинский гидрометрический створ) гидрологическая поправка составляет 0,58, для р. Сунжа (Карабулакский гидрометрический створ) 0,62, в бассейне Кубани для р. Белая (у Майкопа) 0,41, в бассейнах рек Черноморского побережья — р. Шахе 0,50, р. Псоу 0,54 и т. д. Меньшее значение гидрологической поправки для р. Белой, чем для других названных рек, объясняется значительным участием в питании р. Белой высокогорного стока и наличием в ее бассейне небольшого оледенения. Максимальное влияние поправки имеет место на некоторых малых реках крайнего запада; так, ее значение для р. Псекулс — 0,08, для р. Афипс — 0,04.

Поправка топографическая $(\eta_{пр})_H$ учитывает неполноту использования падения реки и разрывы между смежными ступенями гидроэлектри-

ческих установок, связанные с выклиниванием подпорных кривых, со сработкой сливных призм водохранилищ, с невозможностью или нецелесообразностью использования некоторых участков рек и т. д. Значение топографической поправки на основе анализа природных условий речных долин Северного и Западного Кавказа принято равным 0,75.

Поправка инженерная $(\eta_{пр})_N$ включает полный к. п. д. гидросиловой установки, слагающийся из потерь напора в водоподводящих сооружениях установки и к. п. д. гидромеханического и электрического оборудования. Для гидроэлектрических станций большой и средней мощности инженерная поправка составляет около 0,8; для малых гидроэлектрических установок с заводскими турбинами эта поправка обычно принимается равной 0,60—0,65. Для кустарных турбин и водяных колес значение инженерной поправки может достигать 0,25—0,30.

Для основных горных рек Северного и Западного Кавказа и для гидроэлектрических установок разных мощностей величина проектной поправки $\eta_{пр}$ колеблется от 0,10 до 0,30. Значение поправки $\eta_{пр}$ для рек, использование которых возможно лишь гидроэлектрическими установками небольших мощностей (при $(\eta_{пр})_N = 0,60—0,65$), колеблется в широких пределах: — от сотых долей до 0,25—0,30. При характеристике промышленных энергетических ресурсов рек Северного и Западного Кавказа наибольшее значение имеет гидрологическая поправка, которая, как показано выше, колеблется в весьма больших пределах для разных районов и речных бассейнов изучаемой территории. Поэтому для оценки их промышленных ресурсов представляют особый интерес показатели энергетической полноценности речного стока в его естественном, незарегулированном состоянии, с одной стороны, и показатели, характеризующие условия годичного регулирования стока — с другой.

Для характеристики энергетической полноценности стока рек нами использован показатель промышленной энергетической полноценности незарегулированного стока реки заданной обеспеченности:

$$\alpha_{\mathcal{E}} = \frac{\mathcal{E}_{\%}}{\mathcal{E}_{\text{год}}},$$

где $\mathcal{E}_{\%} = \mathcal{E}_{\text{год}} - \mathcal{E}_{-}$,

$\mathcal{E}_{\%}$ — энергия стока при расходах воды ниже заданной обеспеченности (%), а

$$\mathcal{E}_{-} = \alpha t \sum_{H_{\text{устья}}^{H_{\text{исгока}}}} \left(Q_{\text{ср. год}} - Q_{\%} \frac{T}{T_0} \right) \Delta H$$

— сумма потерь энергии для всей реки от сброса части речных вод, при использовании расходов воды заданной обеспеченности (%),

t — интервал времени,

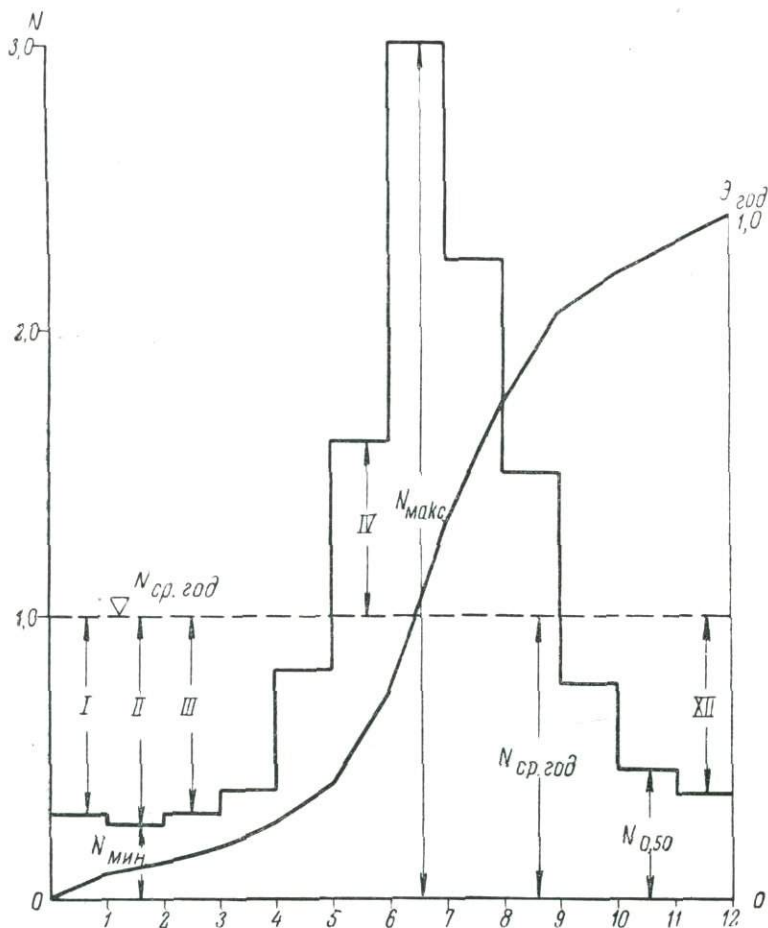
T — число часов работы ГЭС,

T_0 — 8760 час.

$\mathcal{E}_{\text{год}}$ — потенциальная отдача энергии полного годового стока реки.

На фиг. 8 приведена схема нахождения $\alpha_{\mathcal{E}}$ для случая использования расходов воды гарантированных круглый год $(\alpha_{\mathcal{E}})_{\text{гар}}$ и при использовании расходов воды 50% обеспеченности $(\alpha_{\mathcal{E}})_{0,50}$.

Для характеристики условий промышленного использования энергии рек Северного и Западного Кавказа представляют также большой инте-



Фиг. 8. Схема характерных показателей энергетической ценности речного стока:

$$(\alpha_{\text{э}})_{\text{гар}} = \frac{\text{Э}_{\text{гар}}}{\text{Э}_{\text{год}}} = \frac{N_{\text{мин}}}{N_{\text{ср. год}}} = 0,27; \quad (\alpha_{\text{э}})_{0,50} = \frac{N_{0,50}}{N_{\text{ср. год}}} = 0,45;$$

$$K_{\text{мес}} \rightarrow (\text{I}), (\text{II}), \dots (\text{IV}), \dots (\text{XII})$$

$$-0,70 \quad -0,73 \quad +0,60 \quad -0,63;$$

$$K_{\text{мес}} = (\text{I}) + (\text{II}) + \dots (\text{IV}) + \dots (\text{XII})$$

$$0,70 + 0,73 + \dots 0,60 \dots +0,63;$$

N — мощность реки (модульные коэффициенты); $\text{Э}_{\text{год}}$ — энергия годового стока реки.

рес показатели распределения энергии реки в году (по сезонам, месяцам, декадам), которые важны для выяснения условий совместного использования энергии рек. С этой целью применены показатели сезонности, представленные при помощи модульных коэффициентов мощности, т. е. отношений средних сезонных мощностей к средней годовой мощности в виде:

З, В, Л, О и

$$(K_{\text{сез}}) = (\text{З}) + (\text{В}) + (\text{Л}) + (\text{О}),$$

где З, В, Л, О — отклонения модульных коэффициентов от среднего годового модульного коэффициента (равного единице) для сезонов года: З — зима, В — весна, Л — лето, О — осень, а (З), (В), (Л), (О) — их абсолютные значения.

Наилучшие сочетания рек для совместного наиболее полного энергетического использования их стока имеют место при:

$$(\Sigma З) = \text{мин.}, (\Sigma В) = \text{мин.}, (\Sigma Л) = \text{мин.}, (\Sigma О) = \text{мин.}, \\ \Sigma (K_{\text{сез}}) = (\Sigma З) + (\Sigma В) + (\Sigma Л) + (\Sigma О) = \text{мин.}$$

На фиг. 8 приведены значения показателей сезонности I, II, ... XII, причем показатели I, II и XII отрицательны, а VI > 0.

Приведенная выше гидрологическая характеристика рек Северного и Западного Кавказа показывает особую важность сезонного регулирования их стока, возможность которого должна выявляться при изучении энергетических ресурсов этих рек, путем специального учета потенциальных возможностей расширений долин и озерных чаш, пригодных для устройства водохранилищ.

Для характеристики зарегулированности энергии речного стока принят энергетический показатель годичного регулирования:

$$\beta_{\Sigma} = \frac{(V'_{\Sigma})_{\text{год}}}{\mathcal{E}_{\text{год}}},$$

выражающий полезный объем водохранилища, необходимый для полного годового регулирования энергии речного стока, в долях от энергии годового стока реки. В отличие от показателей зарегулированности стока, относимых к определенным створам, энергетический показатель годичного регулирования реки характеризует степень зарегулированности энергии реки в целом.

Характеристика потенциальных возможностей расширений долин и озерных чаш исполнена при помощи показателей энергетической емкости и энергетической эффективности регулирующих объемов, создаваемых плотинами, при наличии соответствующих геологических и топографических условий [20]. При этом энергетическая емкость полезного объема водохранилища (V_n), то есть количество энергии (квтч), которое может быть получено от полной сработки однажды наполненного полезного объема его чаш под напором ($H_{\text{каск}}$), равным разности отметок центра тяжести сливной призмы водохранилища и базиса эрозии реки, на которой расположено водохранилище, составляет:

$$V_{\Sigma} = \int_T^0 NdT = \frac{\alpha}{3600} V_n H_{\text{каск}}.$$

Энергетическая эффективность водохранилища представлена в виде:

$$V_{\Sigma} = \mathcal{E}_p \beta_p = \alpha T Q_p H_{\text{каск}} \beta_p,$$

где \mathcal{E}_p — регулируемая водохранилищем энергия реки до равномерной отдачи в течение года,

Q_p — среднее годовое значение, до которого может быть зарегулирован водохранилищем расход воды в замыкаемом им створе,

$\beta_p = \frac{V_n}{W}$ — показатель регулирования стока (W) в замыкаемом створе,

α имеет различные значения: при определении потенциальной эффективности водохранилища $\alpha = 9,8$, при определении промышленной эффективности принято $\alpha = 6,0$.

Для водохранилищ полного годовичного регулирования стока реки в замыкаемом створе:

$$(V_{\text{эф}})_{\text{год}} = \alpha T Q_{\text{ср. год}} H_{\text{каска}} \beta_{\text{г.р.}}$$

где $Q_{\text{ср. год}}$ — средний годовой расход воды реки в замыкаемом водохранилищем створе,

$\beta_{\text{г.р.}} = \frac{V_{\text{год}}}{W}$ — показатель годовичного регулирования стока при емкости $V_{\text{год}}$, необходимой для годовичного регулирования стока W .

Объем водохранилища, необходимый для полного годовичного регулирования, различен для рек разного гидрологического режима. Для основных типов рек Северного и Западного Кавказа средние величины показателя годовичного регулирования стока ($\beta_{\text{г.р.}}$) составляют:

а) для рек с участием высокогорного питания — от 0,40 (тип I) до 0,25 (тип II). При исключительном высокогорном питании величина $\beta_{\text{г.р.}}$ может достигать 0,50;

б) для рек без высокогорного питания (тип III) — 0,15—0,25;

в) для рек снегового питания (тип IV) — 0,45—0,55.

Если водохранилище допускает перерегулирование стока и может служить базой для устройства гидроэлектрического районного регулятора (ГЭРР), назначением которого является электрическое выравнивание отдачи гидроэлектростанций, не имеющих регулирования [13, 15, 16, 20], его энергетическая эффективность может быть приближенно выражена в виде:

$$(V_{\text{эф}})_{\text{ГЭРР}} = (V_{\text{эф}})_{\text{год}} \cdot [1 + 0,75n + (K_w)_{\text{изб}}]^1,$$

где n — целое число объемов $V_{\text{год}}$, помещающихся в полезном объеме V_n

$$(K_w)_{\text{изб}} = 4,25 (K_v)_{\text{изб}}^{0,633},$$

где

$$(K_v)_{\text{изб}} = \frac{V_{\text{изб}}}{V_{\text{год}}},$$

$V_{\text{изб}}$ — избыточный объем водохранилища, сверх необходимого для годовичного регулирования стока реки в створе плотины,

$V_{\text{год}}$ — объем, необходимый для годовичного регулирования.

В условиях ряда районов Северного и Западного Кавказа (бассейны рек Баксана, Кубани, Теберды, Б. Зеленчука, Лабы, Урупа, Кодори, Ингури и др.) большое значение могут иметь высокогорные (по большей части каровые) озера, для сезонного регулирования энергии сооружаемых при них ГЭС и для устройства особого рода «зимних» гидроэлектрических установок — озерных ГЭРР средней мощности. Назначением последних является выравнивание мощности систем, включающих

¹ В дальнейшем формула $(V_{\text{эф}})_{\text{ГЭРР}}$ была уточнена:

$$(V_{\text{эф}})_{\text{ГЭРР}} = (V_{\text{эф}})_{\text{год}} [1 + n + (K_w)_{\text{изб}}].$$

Таким образом приведенные в табл. 7 данные об эффективности водохранилищ несколько преуменьшены.

ГЭС на незарегулированном стоке рек с ледниковым питанием, путем накопления воды в озерных чашах в летний период года и сброски ее зимою.

Выявление возможной энергетической эффективности каровых озер (при помощи приведенных выше формул), как показали наши исследования, является весьма существенным при изучении энергии рек Кавказа, тем более, что задача энергетического использования каровых озер Кавказа ранее никем не ставилась.

Если не известен сток, протекающий через озерную чашу, энергетическая характеристика озерной чаши должна быть проведена по ее энергетической потенциальной емкости (V_3).

Величину площади (F), годовой сток с которой возможно зарегулировать при данном объеме озерной чаши, можно приближенно найти, зная модули стока (m) с исследуемой территории и при условии, что полезный объем чаши (V_n) равен объему, необходимому для годичного регулирования ($V_{год}$).

Тогда

$$F_{год} = 1000 \frac{Q_{ср, год}}{m} = \frac{1000}{31,536 \cdot 10^6} \cdot \frac{W_{год}}{m} = \frac{1}{31,536 \cdot 10^6} \cdot \frac{V_{год}}{m_{г.р}^3} \sim \\ \sim 31,5 \cdot 10^{-6} \frac{V_{год}}{m_{г.р}^3} \sim 31,5 \frac{V_n}{m_{г.р}^3},$$

при

$$V_n = V_{год} = W_{год} \cdot \beta_{г.р},$$

где

$$V_n — \text{в мл/м}^3,$$

$W_{год}$ — годовой сток, регулируемый в озерной чаше,
 $\beta_{г.р}$ — показатель годичного регулирования стока.

Если озеро выполняет роль зимнего регулятора, его чаша должна вмещать весь годовой сток, который в высокогорных районах почти полностью формируется в летние месяцы. В этом случае $V_n = V_{год} = W_{год}$, а площадь F , с которой может быть собран сток, равна $F_{гэпп} = 31,5 \frac{V_n}{m}$.

Пример подсчета гидроэнергетических ресурсов — р. Баксан (бассейн Терека)

В качестве примера применения различной методики подсчета гидроэнергетических ресурсов горных рек может быть использован бассейн р. Баксан (от истоков до устья р. Чегем). Река Баксан, стекающая с северных склонов Центрального Кавказа, является типичной для Северного Кавказа горной рекой с преобладающим ледниковым питанием и включает в своем бассейне все элементы, характерные для рек этого типа.

Основная речная магистраль бассейна по изученности относится к I категории. Бассейны некоторых высокогорных притоков р. Баксан также изучены и могут служить в качестве базисных (Адыр-су, Азау, Кыртык); бассейны же других должны быть отнесены к II и III категориям изученности.

Из притоков предгорной зоны изученной является лишь р. Гунделен.

В своем нижнем течении р. Баксан разбивается на ряд рукавов и, кроме того, питает ирригационный канал Баксан — Малка.

По данным подробных расчетов, по формуле

$$N = 9,81 \sum_{H_{\text{устья}}^{H_{\text{истока}}}} \frac{Q_1 + Q_2}{2} \Delta H,$$

потенциальная среднегодовая русловая мощность р. Баксан составляет 393,5 тыс. квт, а мощность, обеспеченная круглый год, равна 106,0 тыс. квт.

Полное количество энергии, расходуемое водами бассейна на всей его площади, исчисленное по методу сплошного площадного подсчета, выражается в следующих цифрах:

а) при использовании гипсометрической кривой и эпюры дифференциальных модулей стока, потенциальная среднегодовая мощность бассейна оказалась равной 1600 тыс. квт;

б) при допущении линейной зависимости изменения модуля стока от нарастания высотности бассейна (замена гипсометрической кривой и эпюры модулей стока прямыми линиями) мощность возросла до 3940 тыс. квт;

в) при использовании формулы:

$$N = 9,81 Q_{\text{зам}} \cdot H_{\text{ср. взв}},$$

потенциальная мощность оказалась равной лишь:

$$N = 9,81 \cdot 36,0 \cdot 1300 = 460 \text{ тыс. квт.}$$

Таким образом, применение метода сплошного площадного подсчета, в зависимости от принятой схемы подсчета и точности исходных данных, дает весьма большое колебание итога.

Зональное деление площади бассейна и применение метода базисных бассейнов дают возможность расчленить задачу подсчета потенциальных энергетических ресурсов и принять в качестве базы для расчетов наиболее изученные участки бассейна.

При подсчете ресурсов зоны высокогорного стока по методу базисных бассейнов учтены ресурсы рек:

Азау, с площадью бассейна	88 км ²
Донгуз-Орун " "	13 "
Юсенги " "	20 "
Терскол " "	25 "
Ирик " "	85 "
Адыл-су " "	90 "
Адыр-су " "	120 "
Кыртык " "	130 "
Тютю-су " "	25 "
Сакашили-су " "	60 "
Гижит " "	146 "
Кестанты " "	150 "

Всего 952 км²

При подсчете энергетических ресурсов зоны второстепенных рек безледникового питания учтены ресурсы энергии р. Гунделен и нескольких малых рек.

В зоне устьевого распределительного веера подсчитаны ресурсы энергии перепадов ирригационного канала Баксан — Малка.

Остальные водные источники бассейна р. Баксан имеют незначительные мощности и могут не учитываться.

В качестве базисных бассейнов для высокогорной зоны приняты бассейны рек Адыр-су, Кыртык и Азау.

Характеристика энергетических ресурсов базисных рек приведена в табл. 2.

Таблица 2

Энергетические ресурсы базисных бассейнов

Название бассейна	Площадь бассейна (в км ²)	Потенциальная среднегодовая мощность (в квт)	
		абсолютная	удельная на 1 км ²
Адыр-су	120	24 000	200
Кыртык	130	18 450	141
Азау	88	7 800	89
Сумма	338	50 250	—
Среднее	—	—	143

Учитываемые русловые энергетические ресурсы бассейна р. Баксан (фиг. 8) таким образом составляют:

	(в тыс. квт)	(в %)
По основной реке	393,5	63,7
По зоне высокогорного стока (за вычетом р. Азау, учтенной в ресурсах основной реки)	129,0	22,6
По зоне рек безледникового питания	36,5	6,4
По ирригационному каналу Баксан—Малка (три перепада с общим падением 65,4 м)	13,0	2,3
Всего	572,0	100

Потенциальная среднегодовая мощность части высокогорного стока р. Кыртык, используемого при помощи сбора его каналами и сброса в долину р. Баксан (Сылтранская ГЭС), составляет около 18 тыс. квт (3,2%) и включена в ресурсы зоны высокогорного стока.

Промышленные русловые гидроэнергетические ресурсы р. Баксан, при отсутствии регулирования стока и 75% обеспеченности мощности установок, составляют всего около 90 тыс. квт.

Сопоставление итогов подсчета гидроэнергетических ресурсов бассейна р. Баксан приводит к следующим выводам (фиг. 9):

1. В руслах реки Баксан и ее притоков сосредоточено не более одной трети полной потенциальной площадной мощности всех вод ее бассейна, составляющей около 1600 тыс. квт.

2. Замена гипсометрической кривой и эпюры модулей стока прямыми линиями грубо искажает результаты подсчета в сторону их увеличения.

Применение формулы, включающей расход воды в замыкающем створе, для бассейнов горных рек с резко меняющимся значением

модуля стока по длине реки, наоборот, значительно преуменьшает потенциальную мощность.

3. Основными запасами русловой энергии обладает главный водный поток бассейна (около $\frac{2}{3}$) и его высокогорные притоки (около $\frac{1}{4}$).

4. Промышленные ресурсы энергии 75% обеспеченности, заключенные в русле основной горной реки с ледниковым питанием, составляют около 22% от потенциальных русловых запасов энергии этой реки, около 15% от русловых запасов энергии всего бассейна и лишь около 5,5% от полной площадной потенциальной мощности бассейна.

5. Энергетическая полноценность незарегулированного стока для рек типа Баксан по мощности круглогодовой обеспеченности характеризуется показателем:

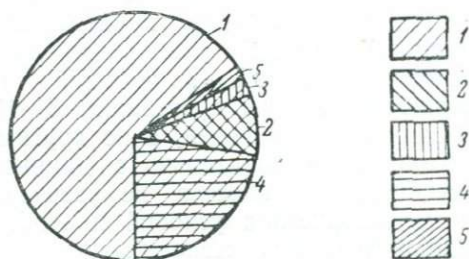
$$\alpha_{\text{Э}} = \frac{106,0}{393,5} \approx 0,27.$$

6. Энергетический показатель годового регулирования (определенный при помощи построения интегральных кривых) для р. Баксан:

$$\beta_{\text{Э}} = 0,36.$$

7. Показатели сезонности для р. Баксан имеют следующее значение:

$$З = 0,69, В = 0,51, Л = +1,28, О = -0,08.$$



Фиг. 9. Гидроэнергетические ресурсы бассейна р. Баксан:

1 — площадная мощность — 1600 тыс. квт; 2 — высокогорные реки — 129 тыс. квт; 3 — предгорные реки — 36,5 тыс. квт; 4 — основная река — 393,5 тыс. квт; 5 — ирригационные каналы — 13 тыс. квт.

Глава 2

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЗАПАСЫ ВОДНОЙ ЭНЕРГИИ ОСНОВНЫХ РЕК СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Для определения полных запасов водной энергии рек Северного и Западного Кавказа (площадная мощность) нет достаточно надежных данных. На основе проведенных исследований по некоторым типичным бассейнам, можно предполагать, что русловые запасы основных горных рек составляют около $\frac{1}{3}$ полной мощности территории.

Подсчет потенциальных русловых запасов водной энергии основных рек Северного и Западного Кавказа был впервые проведен Главэнерго Наркомтяжпрома СССР. Результаты подсчета опубликованы в «Атласе энергетических ресурсов СССР» в 1933 г. [1]. В основу расчетов была положена формула $N = 7,36 QH$; в качестве исходных материалов для расчетов были взяты, в основном, литературные и картографические данные.

В 1935 г. на базе многолетних полевых рекогносцировочных исследований, с составлением продольных профилей рек, гидрометрическими работами и выбором схем использования, Гидроэлектропроектом были получены уточненные данные о русловых мощностях основных рек Северного и Западного Кавказа, сведенные в водно-энергетические схемы

(ВЭС) Северного Кавказа и Закавказья [2, 3].¹ В ВЭС применена формула $N = 9,81 QH$, дающая полную теоретическую потенциальную мощность рек. Несмотря на значительные расхождения в мощностях отдельных рек между данными Главэнерго (после пересчета их по формуле $N = 9,81 QH$) и Гидроэлектропроекта, достигающие в отдельных случаях 200 и даже 300% (некоторые небольшие реки Дагестана), итоговые цифры по обоим источникам имеют почти полное схождение.

Ревизия мощностей, приведенных в ВЭС по рекам Северного и Западного Кавказа, с учетом последних данных по стоку, не дала существенных изменений. По большей части рек расхождения, за редкими исключениями, не превышают 5—10%, причем по бассейну Терека — в сторону уменьшения, а по другим бассейнам — в сторону увеличения мощностей, сравнительно с данными ВЭС. Так как задачей данного исследования является не уточнение потенциальных мощностей рек, а характеристика условий и особенностей их использования, с достаточной точностью могут быть приняты данные ВЭС.

Потенциальные русловые мощности основных рек главных речных бассейнов Северного и исследованной нами части Западного Кавказа, по данным ВЭС Гидроэлектропроекта, составляют 15,337 млн. квт в средний год. Мощность отдельных рек приведена в табл. 3. Площадная мощность (энергия территории) этих бассейнов, вероятно, близка к 50 млн. квт.

В табл. 3 даны средние годовые мощности отдельных рек, а также мощности круглогодовой (97%) и девятимесячной (75%) обеспеченности в тысячах киловатт, потенциальная отдача за средний год и по гарантированному в течение 355 дней в году расходу воды, в миллиардах киловатт-часов, а также приведены показатели, характеризующие энергетическую полноценность стока, условия его регулирования и необходимую для полного годичного регулирования энергетическую эффективность водохранилищ (млрд. квтч)².

На фиг. 11 показаны средние годовые и гарантированные потенциальные мощности речных бассейнов и необходимая для регулирования энергетическая эффективность водохранилищ.

Данные табл. 3 показывают, что энергетическая полноценность минимальна как у рек, в питании которых совсем не участвует высокогорный сток (Афипс, Псекупс и др.), так и у рек с явным преобладанием ледникового питания. Наилучшие показатели энергетической полноценности имеют реки смешанного питания, с участием высокогорного и дождевого (Мзымта, Кодори, Ингури, Шахе и др.), расположенные на южном склоне Главного хребта. Наибольшая зарегулированность речного стока также наблюдается у рек смешанного питания; для их полного годичного регулирования необходимы наименьшие объемы водохранилищ (Пшеха, Сочи, Шахе, Мзымта и др.).

В условиях горных районов Западного Кавказа, при значительном удельном весе и почти круглогодом действии атмосферного (дождевого) питания, даже небольшие водохранилища оказывают весьма существенное регулирующее влияние на сток и энергию рек, обеспечивая возможность высокого использования их потенциальной мощности.

¹ Полевые исследования рек Северного Кавказа, послужившие основным источником при разработке водно-энергетической схемы, проводились в 1924—1935 гг. в значительной части при нашем участии и руководстве.

² Так как расчеты проводились по средним декадным расходам воды, круглогодичная обеспеченность мощности соответствует 97% обеспеченности.

Таблица 3

Потенциальные русловые энергетические ресурсы основных рек Северного и Западного Кавказа

Наименование бассейнов и рек	Потенциальная мощность (в тыс. квт)			Потенциальная отдача (в млрд. квтч)		Энергетическая полноценность α_{Σ}	Энергетический показатель годичн. регулирования β_{Σ}	Необходимая энергетическ. эффективн. водохранилища (в млрд. квтч) V_{Σ}
	средняя за год	обеспеченность (в %)		за средний год (Эгод)	гарантиров. (Эгар)			
		75	97					
Бассейн Кубани:								
Кубань от истока до Краснодар	992	262	139	8,68	1,22	0,14	0,35	3,05
Уллукам	60	10	8	0,53	0,07	0,13	0,40	0,21
Учкулан	42	7	6	0,37	0,05	0,14	0,40	0,15
Даут	36	6	5	0,32	0,04	0,13	0,40	0,13
Теберда	169	41	20	1,48	0,18	0,12	0,42	0,62
Гоначхир	37	8	4	0,32	0,03	0,10	0,42	0,13
Уллу-Муруджу	17	4	2	0,15	0,02	0,13	0,42	0,06
М. Зеленчук (Аксаут)	212	49	24	1,85	0,21	0,11	0,42	0,79
Марух	61	15	6	0,53	0,05	0,10	0,37	0,20
Б. Зеленчук	310	74	40	2,72	0,35	0,13	0,42	1,13
Уруп	137	52	26	1,20	0,23	0,19	0,26	0,31
Б. Лаба	628	201	107	5,50	0,93	0,17	0,31	1,70
М. Лаба	192	62	33	1,68	0,29	0,17	0,32	0,54
Белая	416	150	71	3,64	0,62	0,17	0,27	0,98
Курджипс	36	16	7	0,32	0,06	0,19	0,19	0,06
Пшеха	115	52	21	1,01	0,18	0,18	0,12	0,12
Пшиш	34	7	3	0,30	0,03	0,09	0,30	0,09
Псекупс	14	2	1	0,12	0,01	0,04	0,17	0,04
Афипс	6	0,4	0,05	0,05	0,004	0,008	0,40	0,02
Всего	3514	1018,4	523,05	30,78	4,574	—	—	10,33
Среднее	—	—	—	—	—	0,158	0,34	—
Бассейн Терека:								
Терек	1068	472	363	9,35	3,18	0,34	0,30	2,80
Ардон	320	83	64	2,80	0,56	0,20	0,38	1,07
Гизельдон	71	25	19	0,62	0,17	0,27	0,40	0,25
Фиагдон	86	35	30	0,75	0,26	0,35	0,35	0,26
Геналдон	30	10	7	0,26	0,06	0,23	0,40	0,10
Урух	300	72	48	2,63	0,42	0,16	0,40	1,06
Баксан	394	138	106	3,45	0,93	0,27	0,35	1,21
Гунделен	38	13	10	0,33	0,08	0,26	0,25	0,08
Чегем	174	50	42	1,52	0,37	0,24	0,40	0,61
Черек	442	120	98	3,87	0,86	0,22	0,40	1,55
Черек-Безенгийский	121	33	27	1,06	0,24	0,22	0,40	0,42
Малка	196	102	68	1,72	0,60	0,35	0,27	0,46
Сунжа	96	59	40	0,84	0,35	0,42	0,18	0,15
Асса	178	85	58	1,56	0,51	0,33	0,26	0,41
Аргун (Чанты)	362	148	98	3,17	0,86	0,27	0,31	0,98
Шаро-Аргун	144	59	39	1,26	0,34	0,27	0,30	0,38
Всего	4020	1504	1117	35,19	9,79	—	—	11,79
Среднее	—	—	—	—	—	0,28	0,33	—

Продолжение табл. 3

Наименование бассейнов и рек	Потенциальная мощность (в тыс. квт)			Потенциальная отдача (в млрд. квтч)		Энергетическая полноценность $\alpha_{\text{э}}$	Энергетический показатель годуичн. регулиру- вания $\beta_{\text{э}}$	Необходи- мая энерге- тич. эф- фективн. водохра- нища (в млрд. квтч) $V_{\text{эф}}$
	сред- няя за год	обеспеченность (в %)		за средний год ($\text{Э}_{\text{год}}$)	гаран- тиров. ($\text{Э}_{\text{гар}}$)			
		75	97					
Бассейн Кумы:								
Кума	32	12	5	0,28	0,04	0,16	0,26	0,07
Подкумок	44	21	10	0,39	0,08	0,23	0,18	0,07
Всего	76	33	15	0,67	0,12	—	—	0,14
Среднее	—	—	—	—	—	0,20	0,21	—
Бассейн Сулака:								
Сулак (Анди- ское-Койсу)	1197	455	321	10,47	2,81	0,27	0,32	3,36
Аварское-Койсу	729	218	160	6,38	1,40	0,22	0,33	2,10
Кара-Койсу	166	35	23	1,45	0,20	0,14	0,36	0,52
Казикумухское- Койсу	93	24	12	0,81	0,10	0,12	0,38	0,31
Всего	2185	732	516	19,11	4,51	—	—	6,29
Среднее	—	—	—	—	—	0,24	0,33	—
Бассейн Самура:								
Самур	852	238	162	7,45	1,42	0,19	0,32	2,38
Кара-Самур	32	9	6	0,28	0,05	0,18	0,30	0,08
Ахты-чай	112	50	42	0,98	0,37	0,37	0,27	0,24
Всего	996	297	210	8,71	1,84	—	—	2,70
Среднее	—	—	—	—	—	0,21	0,31	—
Бассейны рек Черноморско- го побережья:								
Шахе	108	87	26	0,95	0,23	0,24	0,17	0,16
Сочи	48	38	8	0,42	0,07	0,17	0,13	0,06
Мзымта	266	180	67	2,33	0,59	0,25	0,19	0,43
Псоу	106	74	24	0,92	0,21	0,23	0,19	0,18
Бзыби (с Гегой)	638	(360)	(125)	5,56	(1,09)	(0,20)	0,27	1,48
Зап. Гумиста	108	(65)	(15)	0,93	(0,13)	(0,14)	0,33	0,31
Келасури	96	(55)	(20)	0,84	(0,18)	(0,21)	0,19	0,16
Кодори (с Чхалтой)	929	(450)	(220)	8,12	(1,93)	(0,24)	0,24	1,92
Гализга	140	(70)	(30)	1,23	(0,26)	(0,21)	0,24	0,29
Ингури (с Нак- рой и Ненской)	2103	(820)	(500)	18,40	(4,37)	(0,24)	0,29	5,35
Всего	4542	(2209)	(1035)	39,70	(9,06)	—	—	10,34
Среднее	—	—	—	—	—	(0,23)	(0,26)	—
Всего по рекам Северного и За- падного Кавказа	15337	(5794)	(3416)	134,16	(29,91)	—	—	41,61
Среднее	—	—	—	—	—	(0,22)	(0,32)	—

Примечания. 1. $\text{Э}_{\text{гар}}$ — по минимальному среднесуточному расходу воды, обеспеченному 355 дней в году.

$$2. \alpha_{\text{э}} = \frac{\text{Э}_{\text{гар}}}{\text{Э}_{\text{год}}}$$

$$3. \beta_{\text{э}} = \frac{V_{\text{эф}}}{\text{Э}_{\text{год}}}$$

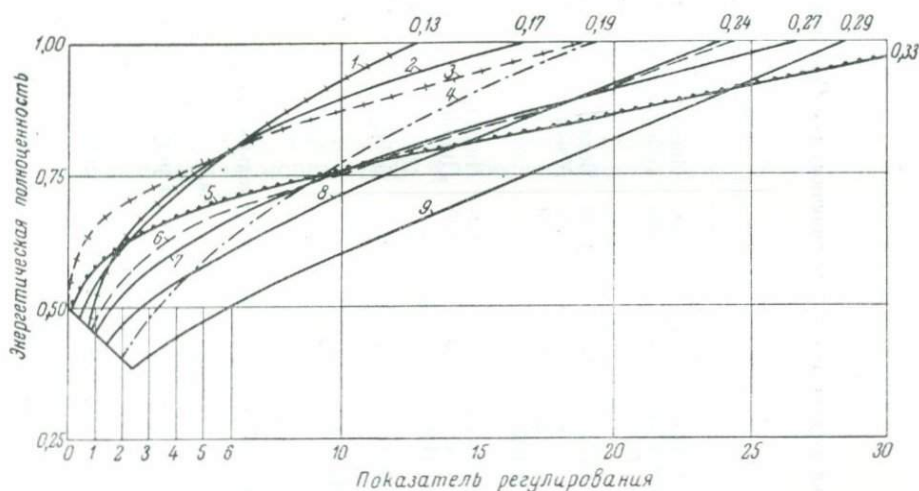
$\beta_{\text{э}}$ для бассейнов в целом получен как отношение суммарного значения $V_{\text{эф}}$ к сумме $\text{Э}_{\text{год}}$. Он имеет смысл лишь при условии изолированного использования всех рек.
4. Графы 2, 3, 4, 5, 6, по данным ВЭС Северного Кавказа [2] и ВЭС Закавказья [3].
5. В скобках — вероятные значения.

Таблица 4

Объемы водохранилищ, необходимые для сезонного регулирования стока рек Северо-Западного участка Черноморского побережья Кавказа (в долях от годового стока)

Условия питания рек	Реки	Регулируемый сток		
		50%	75%	100%
I. С малым участием высокогорного питания	Шахе	0,008	0,046	0,17
	Сочи	0,004	0,033	0,13
II. Со средним участием высокогорного питания	Мзымта	0,001	0,048	0,19
	Псоу	0,001	0,048	0,19
III. С большим участием высокогорного питания	Бзыби	0,020	0,102	0,27
	Кодори	0,028	0,120	0,24
IV. С очень большим участием высокогорного питания	Ингури	0,060	0,165	0,29

Табл. 4 и фиг. 10, на которой в относительных величинах показаны необходимые объемы водохранилищ для регулирования стока (энергии) рек до различных пределов $\left(\frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_{\text{год}}}\right)$, характеризуют условия неполного и полного годового регулирования энергии рек Черноморского



Фиг. 10. Характеристика зарегулированности рек Черноморского побережья Западного Кавказа:

1 — Сочи (0,17); 2 — Шахе (0,24); 3 — Мзымта (0,25) и Псоу (0,23); 4 — Келасури (0,21); 5 — Гумиста (0,14); 6 — Гализга (0,21); 7 — Бзыби (0,20); 8 — Кодори (0,24); 9 — Ингури (0,24).

Примечание. В скобках — показатели энергетической полноценности рек при отсутствии регулирования. Энергетическая полноценность $\alpha_3 = \frac{\mathcal{E}_{\text{гар}}}{\mathcal{E}_{\text{год}}}$, где $\mathcal{E}_{\text{гар}}$ — потенциальная отдача по мощности промышленного минимума; $\mathcal{E}_{\text{год}}$ — полная потенциальная отдача за год, средний по стоку; показатель регулирования $\beta_p = \frac{V}{W}$, где V — объем водохранилища; W — объем годового стока.

побережья Западного Кавказа с различными удельными весами высокогорного питания; они показывают, что для регулирования расхода воды, равного 0,50, 0,75 и 1,00 среднего годового расхода воды, наименьшие объемы водохранилищ должны иметь реки с малым и средним участием высокогорного питания. Отношение $\frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_{\text{год}}}$ на графике (фиг. 10)

Таблица 5

Характеристика энергии некоторых типичных рек Северного и Западного Кавказа

Тип	Индекс, по Львовичу	Гидрологические особенности	Река	МЭ (в квт/км ²)	αЭ	βЭ	Показатели сезонности				К _{сез}
							З	В	Л	О	
I. Альпийский	g-x, E-y или g-x, e-y	Преобладает ледниковое питание. Паводки в теплый период года	Ингури Теберда	566	0,24	0,29	-0,70	0,07	0,88	-0,25	1,90
				154	0,12	0,42	-0,77	-0,31	1,23	-0,20	2,56
II. Подальпийский	r-x, e-y или r-x, p-y	Смешанное (высокогорное и дождевое) питание, преобладает весенний и летний сток; паводки весной	Белая Мзымта	67	0,17	0,27	-0,51	0,55	0,21	-0,25	1,62
				295	0,25	0,19	-0,58	0,52	0,38	-0,32	1,80
III. Причерноморский	R-x, p-y или R-x, h-y	Преобладает дождевое питание и зимний или весенний сток. Паводки круглый год	Пшеха Лшиш	55	0,18	0,12	0,06	0,45	-0,27	-0,24	1,02
				18	0,09	0,30	0,63	0,43	-0,66	-0,40	2,12
IV. Русский	S-x, p-y или S-x, p-y	Преобладает снеговое или дождевое питание и весенний сток. Паводки весной	Бейсуг	0,15	0,05	0,20	0,26	0,33	-0,25	-0,34	1,18

Примечания.

1. МЭ — энергетический модуль бассейна (удельная мощность на 1 км²).
2. αЭ — энергетическая полноценность стока.
3. βЭ — энергетический показатель годичного регулирования.
4. З, В, Л, О — показатели сезонности.
5. К_{сез} = (З) + (В) + (Л) + (О) — абсолютный показатель сезонности.

характеризует полноту использования энергии реки при различных расходах воды круглогодовой обеспеченности, которые достигаются различной степенью регулирования $\left(\frac{V}{W}\right)$. Они подтверждают, что трудности регулирования возрастают с увеличением высокогорного питания рек. Так, Ингури, Кодори и Бзыби, имеющие наибольший удельный вес высокогорного питания, требуют наибольших регулирующих емкостей. Исключение имеет место лишь при регулировании рек I группы на расход воды 0,50, требующем больших объемов, чем реки II группы. Это объясняется резким маловодием рек I группы в засушливый летний сезон.

Условия сезонного распределения энергии рек Северного и Западного Кавказа могут быть представлены при помощи показателей сезонности.

В табл. 5 дана комплексная характеристика энергии рек различных типов.

Промышленные мощности основных горных рек Северного и Западного Кавказа могут быть найдены по данным табл. 3, характеризующим среднюю годовую потенциальную мощность и мощности различной обеспеченности, путем введения в них топографической (0,75) и инженерной (0,8) поправок. Гидрологическая поправка не вводится, так как уже ранее учтена при подсчете мощностей соответствующей обеспеченности. Средние годовые промышленные запасы энергии основных горных рек Северного и Западного Кавказа составляют 9202 тыс. квт, или 60% от их полных потенциальных запасов, промышленная мощность 75% обеспеченности ориентировочно равна 3476 тыс. квт и промышленная мощность 97% обеспеченности равна 2050 тыс. квт (табл. 6).

Таблица 6

Промышленные мощности рек Северного и Западного Кавказа
(в тыс. квт)

Бассейны рек	$N_{\text{ср. год}}$	$N_{75\%}$	$N_{97\%}$
Кубани	2109	611	309
Терека	2413	902	647
Кумы	46	20	1
Сулака	1311	439	310
Самура	597	178	126
Черноморского побережья	2726	1326	621
Всего	9202	3476	2050

Примечание. Промышленные средние годовые мощности, а также мощности 75% ($N_{75\%}$) и 97% ($N_{97\%}$) обеспеченности найдены путем введения в соответствующие значения потенциальных мощностей (табл. 3), топографической (0,75) и инженерной (0,8) поправок.

Увеличение промышленных запасов энергии рек Северного и Западного Кавказа, как показано выше, более всего зависит от возможности регулирования их стока. Поэтому оценка энергетических ресурсов рек исследуемых районов была бы неполной при отсутствии соответствующей характеристики расширений речных долин, которые могли бы быть использованными для устройства водохранилищ. Такая характеристика дана в следующей главе.

Потенциальные энергетические возможности расширений

Река	Водоохранилище	$\frac{V_{п}}{V_{год}}$ (в км³)	$\frac{V_{изб}}{V'_{изб}}$ (в км³)	$\frac{H_{п}}{H_{год}}$ (в м)	$\frac{\beta_{гр}}{Q_{ср. год}}$ (в м³/сек)
Бассейн Кубани:					
I Кубань	Эльбрусское	0,28	—	150	0,40
		0,35	—	160	27,0
II "	Аманхитское	0,30	—	150	0,40
		0,44	—	165	35,5
III "	Беломечетское	2,60	1,50	80	0,36
		1,10	0,40	60	96,3
IV Теберда	Нижне-Тебердинское . . .	0,60	0,22	150	0,42
		0,38	—	130	28,5
V Б. Зеленчук	Архызское	0,47	0,24	120	0,42
		0,23	0,01	100	17,1
VI "	Исправненское	0,51	—	85	0,42
		0,51	—	85	37,8
VII Б. Лаба	Загеданское	0,78	0,49	135	0,31
		0,29	0,20	105	29,6
VIII Белая	Хамышинское	0,62	0,27	123	0,27
		0,35	—	90	44,0
IX Пшеха	Черниговское	0,14	0,04	60	0,15
		0,10	—	50	21,4
X "	Верхне-Пшехское	0,19	0,10	80	0,16
		0,09	0,01	67	18,5
Бассейн Терека:					
XI Малка	Лахранское	0,20	0,12	150	0,27
		0,08	0,04	104	9,5
XII Асса	Таргимское	0,20	0,09	150	0,26
		0,11	—	122	13,5
XIII Терек	Эльхотовское	2,50	1,60	52	0,24
		0,90	0,70	37	119,0
XIV Ардон	Заромагское	0,45	0,25	132	0,40
		0,20	0,05	100	15,8
XV Чанты-Аргун	Цилахойское	0,20	—	150	0,31
		0,23	—	128	23,5
Бассейн Сулака:					
XVI Аварское-Койсу	Ирганайское	1,50	0,50	150	0,33
		1,00	—	93	96,5

Таблица 7

доли на реках Северного и Западного Кавказа

$\frac{\beta_{р}}{Q_{ср. р}}$ (в м³/сек)	$H_{каск}$ (в м)	$\frac{n}{0,75 n}$	$\frac{(K_{в})_{изб}}{(K_{ш})_{изб}}$	$\frac{V_{эф}; V_{эф.год}}{(V_{эф})_{ГЭРР}}$ (в млрд. квтч)	$\frac{a_{эф}}{(a_{эф})_{100}}$	$\frac{V_{пл}}{a_{пл}}$
0,32	1260	—	—	0,83	2,95	3,2
23,5				—	0,24	260
0,27	1100	—	—	0,81	2,70	3,2
31,1				—	0,26	252
—	440	1	0,36	2,87	1,10	—
		0,75	0,43		0,25	
—	1170	—	0,58	—	3,23	2,3
			0,58	1,94	0,28	842
—	1460	1	0,04	—	3,62	1,9
		0,75	0,10	1,70	0,25	895
—	785	—	—	—	2,12	2,3
				1,08	0,27	470
—	1225	1	0,69	—	3,04	—
		0,75	0,64	2,36	0,24	
—	630	—	0,78	—	1,74	1,2
			0,68	1,08	0,23	900
—	340	—	0,40	—	1,00	—
			0,46	0,14	0,29	
—	435	1	0,11	—	1,16	—
		0,75	0,20	0,22	0,26	
—	1240	1	0,50	—	3,05	—
		0,75	0,52	0,61	0,24	
—	1130	—	0,82	—	2,91	—
			0,70	0,58	0,26	
—	385	1	0,78	—	0,92	—
		0,75	0,69	2,30	0,24	
—	1750	1	0,25	—	4,45	—
		0,75	0,34	2,00	0,25	
0,27	1160	—	—	0,54	2,70	—
20,0				—	0,28	
—	580	—	0,50	—	1,61	—
			0,52	2,42	0,28	
Всего потенциальная				—	21,48	
" промышленная				—	12,85	

$V_{\text{год}}$ — полезный объем водохранилища, необходимый для годичного регулирования стока по среднему гидрологическому году (в км³);

$\beta_{\text{гр}}$ — то же в долях от годового стока реки в створе плотины (показатель годичного регулирования);

$V_{\text{п}}$ — максимальный полезный объем водохранилища, возможный в данных естественных условиях (в км³);

$V_{\text{изб}}$ и $V'_{\text{изб}}$ — избыточный (сверх необходимого для полного годичного регулирования) полезный объем водохранилища:

$$V_{\text{изб}} = V_{\text{п}} - V_{\text{год}}; \quad V'_{\text{изб}} = V_{\text{п}} - nV_{\text{год}},$$

где

n — число полных объемов $V_{\text{год}}$ в полезном объеме $V_{\text{п}}$;

$(K_v)_{\text{изб}}$ — коэффициент избыточного полезного объема водохранилища:

$$(K_v)_{\text{изб}} = \frac{V_{\text{изб}}}{V_{\text{год}}} \quad \text{или} \quad (K_v)_{\text{изб}} = \frac{V'_{\text{изб}}}{V_{\text{год}}};$$

$$(K_w)_{\text{изб}} = 4,25 (K_v)_{\text{изб}}^{0,633};$$

$H_{\text{год}}$ — высота подпора (в м), необходимая для получения полезного объема водохранилища, достаточного для годичного регулирования стока, с учетом необходимого мертвого объема;

$H_{\text{п}}$ — предельная принятая высота подпора (в м);

$H_{\text{каск}}$ — напор брутто (в м) возможного каскада ГЭС, регулируемых водохранилищем (расположенных ниже него по течению реки); $H_{\text{каск}}$ равен разности отметок центра тяжести сливной призмы водохранилища и базиса эрозии реки;

$Q_{\text{ср год}}$ — средний годовой расход воды среднего года, в створе плотины (в м³/сек);

$Q_{\text{ср}}$ — средний годовой расход воды (в м³/сек) в створе плотины, регулируемый водохранилищем;

$V_{\text{эф}}$ — потенциальная энергетическая эффективность водохранилища (в млрд. квтч).

$(V_{\text{эф}})_{\text{ГЭРР пром}} \leq 0,6 (V_{\text{эф}})_{\text{ГЭРР}}$ — промышленная энергетическая эффективность водохранилища ГЭРР.

$\alpha_{\text{эф}} = \frac{V_{\text{эф}}}{V_{\text{п}}}$ — удельная энергетическая эффективность водохранилища (в квтч/м³), при использовании всего напора каскада ($H_{\text{каск}}$), характеризующая регулируемую эффективность всего каскада;

$(\alpha_{\text{эф}})_{100} = \frac{\alpha_{\text{эф}}}{H_{\text{каск}}}$ — то же, приведенная к напору 100 м и характеризующая эффективность собственно водохранилищной чаши;

$V_{\text{пл}}$ — ориентировочный объем плотины принятой высоты в млн. м³ приведенного бетона;

$\alpha_{\text{пл}} = \frac{V_{\text{эф}}}{V_{\text{пл}}}$ — удельная энергетическая эффективность водохранилища на 1 м³ тела плотины.

Глава 3

РЕГУЛИРУЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАСШИРЕНИЙ ДОЛИН ОСНОВНЫХ ГОРНЫХ РЕК СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Исследования долин горных рек Северного и Западного Кавказа показали, что благоприятные условия для существенного сезонного, а тем более для многолетнего регулирования их стока встречаются не часто. Лишь не более десятка расширений горных долин рек Северного и Западного Кавказа могут, повидимому, оказаться пригодными для устройства водохранилищ большой емкости.

Геологические условия изучены достаточно пока лишь для Хамышинского расширения на р. Белой.

Потенциальная энергетическая эффективность возможных водохранилищ в бассейнах рек Северного и Западного Кавказа должна быть оценена для предельного использования естественных условий расширений долин и для всего падения рек на участках, лежащих по течению ниже регулирующих чаш. В табл. 7 приведены данные, характеризующие возможные водохранилища и их влияние на энергетическое использование стока, а на фиг. 11 показано их расположение. При подсчете потенциальной энергетической эффективности водохранилищ приняты максимальные желательные по условиям энергетики объемы их чаш, в тех случаях, если нет явных топографических или геологических противопоказаний для получения таких объемов. Пределом подпора в ущельях, сложенных горными породами высокой прочности, принята высота 150 м.

Вместе с тем, подсчет потенциальной энергетической эффективности водохранилищ проведен для наименее выгодных условий регулирования. Так, во всех случаях, когда для данного створа $V_{изб} = V_{год}$ принято совместное использование двух рек одного типа, при $V_{изб} > V_{год}$ расчеты проведены для условия полного годичного регулирования энергии двух (или более) однотипных рек и частичного регулирования оставшимся избыточным объемом еще одной реки такого же типа.

Данные табл. 7 показывают, что суммарная энергетическая эффективность возможных и пригодных для совместной работы водохранилищ на этих реках достаточна для значительного регулирования энергии бассейнов при условии устройства мощных ГЭРР на базе некоторых, наиболее крупных, водохранилищ.

По данным для рек, на которых имеется несколько водохранилищ (Кубань, Б. Зеленчук), можно проследить закономерность повышения удельной энергетической эффективности водохранилищ, с удалением створов регулирующих плотин от устья к истокам рек, т. е. с увеличением используемого напора $H_{каск}$. Из возможных по топографическим условиям водохранилищ могут быть отобраны наиболее эффективные. По этим водохранилищам необходимо выполнение подробных исследований с инженерно-геологической разведкой, при благоприятных результатах которых они должны быть положены в основу развития мощной гидроэнергетической базы Северного и Западного Кавказа. По условиям территориального расположения и по показателям потенциальной энергетической эффективности, к числу наивыгоднейших водохранилищ должны быть отнесены Эльбрусское (р. Кубань), Нижне-Тебердинское (р. Теберда), Архызское (р. Б. Зеленчук), Загеданское (р. Б. Лаба), Заромгское (р. Ардон) и Лахранское (р. Малка). Суммарная потенциальная энергетическая эффективность всех выявленных водохранилищ составляет около 22 млрд. квтч. Она способна зарегулировать более половины отдачи всех рек Северного и Западного Кавказа даже при наименее выгодных условиях совместного энергетического использования стока рек одного гидрологического типа.

Если же принять во внимание широкие возможности объединения гидроэлектрических станций на реках различных типов гидрологического режима, а также учесть перспективы электрической связи их с ГЭС на реках смежных районов, для полного регулирования всех гидроэлектрических установок, строительство которых будет осуществляться в дальнейшем на Северном и Западном Кавказе, окажется достаточным сооружение лишь нескольких водохранилищ из числа при-

веденных, так как при объединенной работе ГЭС на реках с различным гидрологическим режимом эффективность водохранилищ ГЭРР может увеличиваться в несколько раз. ГЭРР на базе этих водохранилищ могли бы обеспечить развитие мощной объединенной энергетической системы всего Северного и Западного Кавказа.

Критерием при выборе первоочередных водохранилищ может служить комплекс показателей $V_{эф}$, $\alpha_{эф}$, $\alpha_{пл}$. Показатель $V_{эф}$ зависит от емкости водохранилища и величины суммарного напора возможных ГЭС на регулируемом водотоке. Показатель $\alpha_{эф}$ зависит от расположения водохранилища и ухудшается по мере продвижения створа водохранилищной плотины вниз по реке, т. е. при уменьшении напора $H_{каск}$. Таким образом, верховые водохранилища оказываются наиболее выгодными. В частности, Эльбрусское водохранилище на Кубани эффективнее, чем лежащие ниже него по течению Аманхитское и особенно Беломечетское; Архызское на р. Б. Зеленчук более эффективно, чем Исправненское, и т. д.

Показатель $(\alpha_{эф})_{100}$, характеризующий топографические особенности водохранилищной чаши, изменяется в небольших пределах (0,24—0,29); он имеет наибольшие значения для водохранилищ Черниговского (р. Пшеха), Хамышинского (р. Белая), Ирганайского (Аварское-Койсу) и Цилахойского (Чанты-Аргун). Показатель $\alpha_{пл}$ дает представление об относительной регулирующей способности на единицу объема тела плотины. Первоочередные водохранилища, пригодные для устройства мощных гидроэлектрических районных регуляторов (ГЭРР), следует выбирать из числа имеющих наилучшие показатели $V_{эф}$, $\alpha_{эф}$, $\alpha_{пл}$.

Глава 4

Каровые озера Северного и Западного Кавказа и их регулирующие возможности

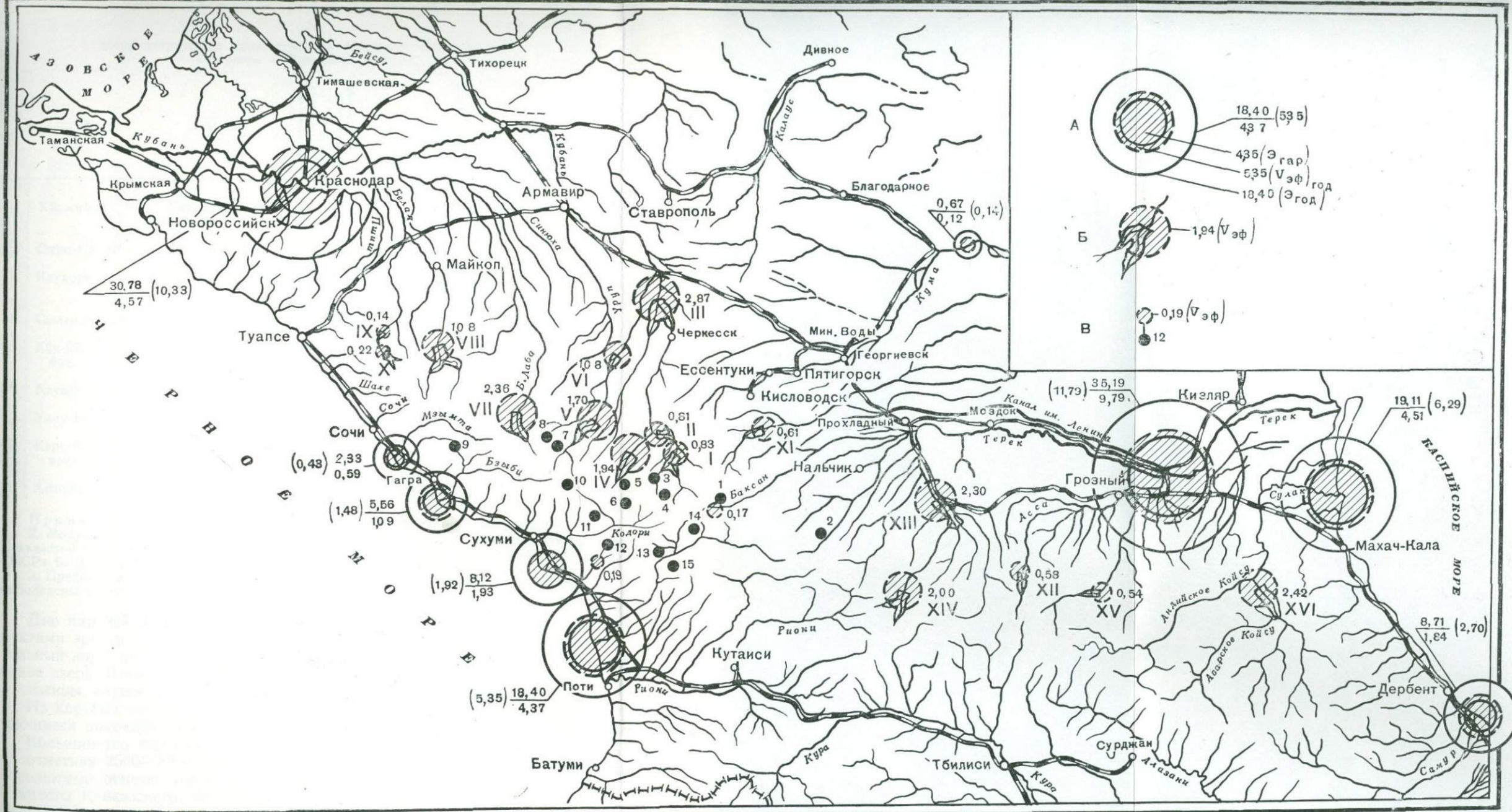
а. Характеристика каровых озер Северного и Западного Кавказа¹

Несмотря на значительный интерес, который представляют каровые озера для развития гидроэнергетики в ряде горных районов, каровые озера Северного и Западного Кавказа с этой точки зрения не были ранее изучены. В географической литературе почти отсутствует описание этих озер, а в технических кругах иногда даже имеет место смешение понятий каровых озер с карстовыми. Считаю поэтому уместным привести здесь краткую характеристику наиболее интересных для гидроэнергетического использования каровых озер из числа изученных при энергетических исследованиях Северного и Западного Кавказа.²

Каровые, или, как их иногда называют, кресловинные, озера отличаются от высокогорных озер других типов своим расположением в характерных креслообразных котловинах, врезанных действием ледниковой эрозии в верхние части горных склонов речных долин. Эти котловины окружены обычно амфитеатрами высокими, крутыми, скалистыми стен и лишь со стороны долин ограничены невысокими, отшлифованными льдами, скалистыми порогами, иногда прикрытыми ледниковой мореной, аллювием и продуктами выветривания примыкающих скалистых склонов амфитеатра.

¹ Автор настоящего раздела А. С. Клопова.

² Исследования проведены под руководством С. В. Клопова при нашем участии.



Фиг. 11. Схема потенциальных гидроэнергетических ресурсов Северного и Западного Кавказа:

А — потенциальные ресурсы речных бассейнов $\mathcal{E}_{\text{гар}}$ — отдача по гарантированной (97%) мощности; $\mathcal{E}_{\text{год}}$ — полная годовая отдача; $(V'_{\text{эф}})_{\text{год}}$ — необходимая для полного годичного регулирования энергетическая эффективность водохранилища; Б — энергетическая эффективность возможных водохранилищ ($V_{\text{эф}}$) (см. табл. 7); В — энергетическая эффективность ($V_{\text{эф}}$) каровых озер (1—15).

Возможные водохранилища (I—XVI, см. табл. 7). Под номерами 1—15 обозначены высокогорные каровые озера:

1) Сытран-Кель, 2) Гий-Баш-Кель, 3) Улуу-Кель, 4) Джалпа-Кол, 5) Улуу-Муруджинские, 6) Клаухори, 7) Кыфар и Чилик, 8) Загедан, 9) Мзи, 10) Аданге, 11) Квараша, 12) Адуада-Адзышь и Ангоста, 13) Окро Цкали, 14) Неискрские, 15) Тобо-Варчелы-Дуды.

Примечание. Все величины даны в млрд. квтч.

Таблица 8

Морфометрическая характеристика некоторых каровых озер Северного и Западного Кавказа

№ п/п	Озеро	Бассейн	Абсолютная от- метка горизонта воды (в м)	Площадь водо- сборного бассейна (в км ²)	Площадь полезения (в км ²)	Среднегодовой модуль стока (в л/сек)	Площадь зеркала озера (в га)	Максималь- ная глубина (в м)		Объем чаши озера (в млн. м ³)
								измерен- ная	предпола- гаемая	
1	Хаджибей	Хаджибей (Кубань)	2852	1,5	0,3	(50)	4,6	14,0	—	0,35
2	Окро-Цкали	Дарч (Ингури)	2421	2,2	(0,3)	(75)	10,7	26,5	—	1,6
3	Клухори	Гоначхир (Кубань)	2692	3,1	1,2	(60)	16,4	35,9	—	2,6
4	Сылтран-Кёль	Баксан (Терек)	3213	4,7	2,7	(40)	17,0	35,0	(40)	2,3
5	Кёк-Кёль (голубое)	Уллу-Муруджу (Кубань)	2844	1,5	0,9	(50)	21,7	50,0	—	3,9
6	Адуада-Адзышь	Брамба (Кодори)	2385	2,3	(0,3)	(75)	33,7	64,0	—	7,6
7	Уллу-Кёль	Учкулан (Кубань)	2816	3,5	0,3	(25)	17,0	—	(40)	(2,3)
8	Кара-Кёль (черное)	Уллу-Муруджу (Кубань)	2870	0,5	(0,1)	(50)	(9,0)	21,6	(25)	(1,0)
9	Антоста	Брамба (Кодори)	2530	<1,0	—	(75)	(5,0)	—	(15)	(0,4)

Примечания. 1. В скобках даны вероятные (предполагаемые) значения.

2. Модуль стока принят по сравнению с данными энергетического отряда Кавказской экспедиции и «Картой среднего годового стока рек Европейской части СССР» Б. Д. Зайкова.

3. Предполагаемые максимальные глубины озер Уллу-Кёль, Кара-Кёль и Антоста определены по измеренной площади зеркала (фиг. 14).

Дно каровой котловины может быть либо пустым и покрытым продуктами эрозии склонов, либо заполненным ледником или фирном (действительный кар), либо же содержать скопление талых вод, образующих каровое озеро. В последнем случае порог, отделяющий каровую котловину от долины, служит как бы естественной монолитной плотиной.

Из каровых озер обычно вытекают небольшие горные ручьи, низвергающиеся высокими водопадами в долины нижележащих рек.

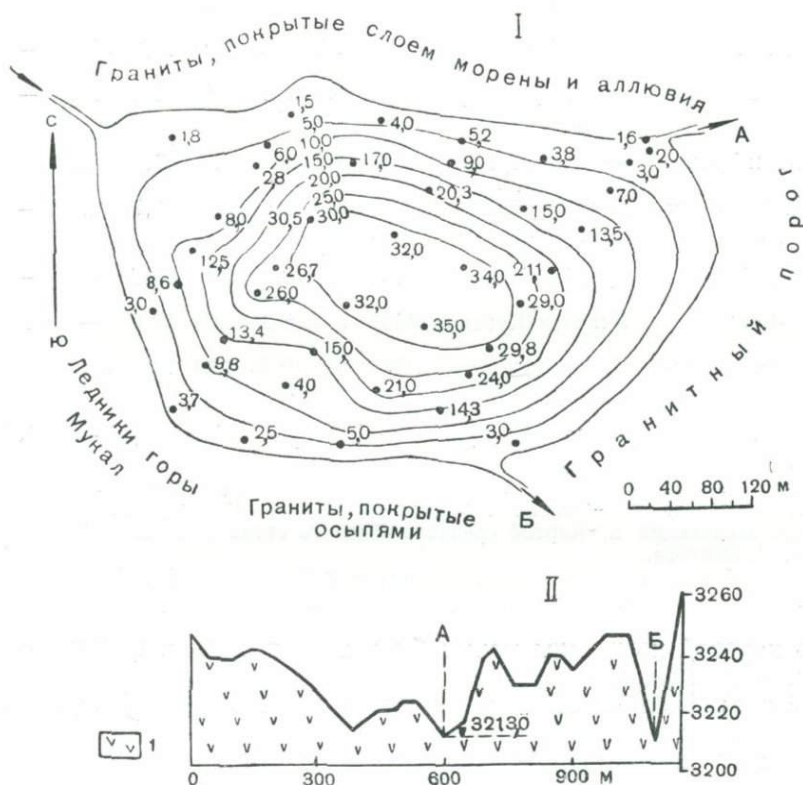
Большинство каровых озер исследуемой части Кавказа расположено на отметках 2500—3200 м выше уровня моря (табл. 8). Максимальные абсолютные отметки имеют озера центральной части северного склона Главного Кавказского хребта (Сылтран-Кёль, Гий-Баш-Кёль), а наименьшие — озера его южного склона (Адуада-Адзышь, Окро-Цкали и др.). Некоторые каровые озера южного склона имеют отметки зеркала воды ниже 2000 м (например, оз. Квараши в бассейне р. Чхалты).

Часто можно наблюдать каровые озерные лестницы из трех-четырех и более озер, расположенных на разных высотах одно над другим.

Каровые озера Северного и Западного Кавказа невелики по своим размерам. Лишь немногие из них имеют площадь более 1 га. Озера с большими площадями зеркала воды поэтому представляют особый интерес. К наиболее крупным из исследованных каровых озер

принадлежат озера: Сылтран-Кёль (бассейн р. Баксан), Кёк-Кёль и Кара-Кёль (бассейн р. Уллу-Муруджу), Клухори и Хаджибей (бассейн р. Теберды), Адуада-Адзышь, Антоста и Кварашаи (бассейн р. Кодори) и Окро-Цкали (бассейн р. Ингури). Почти все эти озера имеют площадь зеркала воды более 10 га; глубины некоторых из них превышают 50 м. Схематическое расположение наиболее интересных для гидроэнергетического использования каровых озер Северного и Западного Кавказа показано на фиг. 11. Ниже приводится описание некоторых из этих озер.¹

Оз. Сылтран-Кёль (фиг. 11, оз. 1)—наиболее крупное из каровых озер бассейна р. Терек, расположено в истоках р. Сылтран-су, правого притока р. Кыртык (впадает в р. Баксан у сел. В. Баксан).



Фиг. 12. План оз. Сылтран-Кёль и схематический профиль по оси порога, отделяющего его от долины р. Сылтран-су:

I — план в изобатах (промеры исполнены 19–20. VII 1941 г.). Абсолютная отметка горизонта воды 3213 м. Сечение изобат через 5 м. *II* — схематический профиль по оси гранитного порога; *I* — изверженные породы; *A* и *B* — ручьи, вытекающие из озера.

Максимальная измеренная глубина озера оказалась равной 35 м. Разрывы в промерах центральной части озера (фиг. 12) не дают возможности установить точно глубину, но, повидимому, наибольшая фактическая глубина близка к 40 м. Площадь зеркала равна 17 га, объем чаши 2,3 млн. м³. Пробы грунта, взятые со дна озера, показывают, что

¹ Ниже приводятся планы в изобатах лишь для озер Сылтран-Кёль и Адуада-Адзышь. Планы озер Хаджибей, Окро-Цкали, Клухори, Кёк-Кёль и Кара-Кёль имеются в научном отчете энергетического отряда Кавказской комплексной экспедиции СОПС АН СССР за 1946 г. (фонды СОПС АН СССР).

дно покрыто слоем тончайшей моренной глины. Озерная чаша лежит у подножья г. Мукал и занимает дно обширного горного цирка. Из 4,7 км² водосборной площади озера вечными снегами и льдом покрыто 2,7 км². Движение льдов, выпавших в скалистом массиве гранодиоритов Сылтранский кар, происходило с запада на восток, в результате чего восточный берег озера представлен скалистым порогом «бараньего лба», сохранившего на своей поверхности явные следы ледниковой эрозии. Отполированные льдом скалы бараньего лба возвышаются на 35—40 м над горизонтом воды озера и круто падают в долину р. Сылтран-су, разделяя своим массивом два ручья, вытекающие из озера.

Русло южного ручья в месте выхода из озера завалено мощными осыпями крутого склона кара. Русло северного — покрыто галькой. Истечение воды из озера происходит одновременно по обоим руслам. Расходы воды обоих ручьев, по глазомерному определению, примерно одинаковы и в июле 1941 г. составляли в сумме около 0,5—0,7 м³/сек.

У подошвы скал бараньего лба оба ручья объединяются под мощным слоем осыпей, заполнивших вторую (угасшую) каровую котловину значительно меньших размеров, чем верхняя. Пройдя 1,5—2,0 км под осыпями, объединенные воды ручьев ниспадают затем по скалистому дну долины непрерывной цепью водопадов. В северо-западной части озера в него впадает небольшой ручей, питаемый ледниками г. Мукал.

Путь к озеру длиной около 7 км лежит по крутому, заваленному обломками скал, ущелью р. Сылтран-су. Подъем к озеру от сел. Верхний Баксан составляет около 1700 м.

Средний уклон р. Сылтран-су составляет около 0,24. Зубчатый характер профиля по оси порога (фиг. 12) и остатки флювиогляциальных отложений в его пониженных точках позволяют проследить стадии постепенного понижения уровня оз. Сылтран-Кёль, в результате эрозионного действия вытекающих из него вод. Современный уровень воды озера имеет абсолютную отметку 3213 м; его максимальный уровень, имевший место при первоначальном заполнении кара тальными водами образовавшегося его ледника, повидимому, стоял на 35—40 м выше современного. Промеры глубин оз. Сылтран-Кёль были проведены с резиновой лодки в точках, отстоящих друг от друга на расстоянии 40—60 м. Положение точек инструментально определялось с берега.¹ Материалы промеров и тахеометрической съемки береговой линии озера дали возможность составить план озера в масштабе 1 : 2000 с изобатами через 5 м.

Суровый высокогорный климат и близость мощных ледников Эльбруса являются причиной замедленного таяния льда, толстым слоем покрывающего озеро большую часть года. Образование льда начинается в октябре, окончательно же исчезает лед с поверхности озера лишь в августе. При посещении озера в конце июня 1941 г. на нем был обнаружен сплошной лед толщиной более 0,5 м, с одной лишь проталиной у северо-восточного берега. Промерам озера 20 июля 1941 г. мешали дрейфующие льдины. Оз. Сылтран-Кёль оказывает значительное регулирующее влияние на летний сток р. Сылтран-су, зимою же сток из озера прекращается, так как русла вытекающих из озера ручьев, имеющие меженные глубины 0,2—0,3 м, промерзают до дна. Скучная растительность в районе озера представлена исключительно низкорослыми высокогорными травами. Расположение оз. Сылтран-Кёль относительно долины Баксана, от которой озерная котловина отделена узким

¹ Промеры глубин оз. Сылтран-Кёль исполнены С. В. Клоповым и А. В. Лавровым в 1941 г.

скалистым гребнем, чрезвычайно выгодно для использования чаши озера регулирующим водохранилищем высоконапорной гидроэлектрической установки. Здесь может быть сосредоточен напор около 1700 м. Порог, отделяющий озеро от долины р. Сылтран-су, мог бы послужить прочным основанием для плотины, если бы оказалось необходимым увеличить регулируемую способность озера.

Озеро Уллу-Кёль (фиг. 11, оз. 3) — одно из крупнейших каровых озер верхней части бассейна Кубани, находится в истоках р. Кичкине-Кол, левого притока р. Учкулан (последний вместе с р. Уллукам образует р. Кубань).

Абсолютная отметка горизонта воды озера 2816 м.

Из общей площади водосборного бассейна озера, составляющей 3,5 км², около 0,3 км² покрыто ледниками. Площадь озера немногим превышает 17 га. Из озера вытекает ручей Кичкине-Кол, прорезавший свое русло в гранитном пороге, ограждающем озерную чашу с северо-востока. В межень глубина ручья не превышает 0,25—0,30 м, а расход воды 0,9—1,0 м³/сек.¹

Гранитная чаша Уллу-Кёльского кара образована ледниками отрогов горного узла Рынджи-Аге.

Несколько небольших озер заполняют угасающие каровые котловины выше и ниже оз. Уллу-Кёль. Окрестности оз. Уллу-Кёль имеют довольно богатую высокогорную растительность: кроме трав здесь встречаются кустарники (рододендрон, можжевельник и др.).

Оз. Уллу-Кёль сравнительно легкодоступно; тропа вдоль русла Кичкине-Кол пригодна для верхового и вьючного транспорта.

Озеро Клухори (фиг. 11, оз. 6) — наиболее известное из каровых озер Центрального Кавказа, расположено недалеко от Клухорского перевала, у Военно-Сухумской дороги.

Озеро расположено на уровне 2692 м (абс.). Озерная чаша имеет грушевидную форму. Водосборная площадь озера 3,1 км². Оз. Клухори занимает среднюю котловину каровой лестницы, в которой верхний кар является действующим, а нижний уже заполнен наносами. По замечанию И. С. Шукина, каровая лестница р. Клухори, вытекающей из озера, — прекрасный пример ледниковой эрозии, жизни и угасания каров. Исследование оз. Клухори, с промерами глубин и с инструментальной съемкой, показало, что оно имеет глубину 35,9 м, площадь зеркала 16,4 га и объем чаши 2,6 млн. м³.²

Питание озера происходит в его расширенной восточной части таплыми водами ледников, площадь их 1,2 км². Сток в р. Клухори осуществляется через узкую щель в гранитном пороге западной оконечности озера. По выходе из озера р. Клухори низвергается цепью водопадов по крутому скалистому склону высотой более 750 м в широкую троговую долину, где сливается с р. Чотча. Ниже, после слияния с р. Бу-Ульген, река принимает название Гоначхир (Куначкир) и является правой составляющей ветвью р. Теберды.

Озера Уллу-Муруджинской группы чрезвычайно интересны по своим размерам и расположению. Из многочисленных озер этой группы особо выделяются два озера — Кёк-Кёль (голубое озеро)³ и Кара-Кёль (черное озеро), находящиеся на левом склоне долины р. Уллу-Муруджу (правый приток Теберды) в обширных каровых котло-

¹ По измерениям С. В. Клопова в 11 час. 27 июля 1946 г.

² Промеры исполнил С. Д. Фролов в 1927 г.

³ В точном переводе «синее».

винах, почти у вершин водораздельного гребня р. Уллу-Муруджу — р. Гоначхир.

Озеро Кёк-Кёль (фиг. 11, оз. 5) — наиболее крупное из озер карового происхождения северного склона Центрального Кавказа. Отметка уровня озера 2844 м. Максимальная глубина его, по измерениям Г. К. Тушинского, равна 50 м. Озеро расположено на дне цирка, имеющего скалистые склоны крутизной 30—40°, местами покрытые мощными осыпями. Водосборная площадь озера равна 1,5 км²; в большей своей части она покрыта льдом и фирном (0,9 км²). Площадь зеркала воды 21,7 га, объем 3,9 млн. м³. Вершины, окружающие озеро, имеют абсолютные высоты около 3200 м. От долины р. Уллу-Муруджу оз. Кёк-Кёль отделено гранитным порогом. Вытекающий из озера ручей круто спускается к подошве склона, образуя цепь водопадов высотой около 550 м. Условия таяния льда, покрывающего зимою оз. Кёк-Кёль, благоприятны; в конце июля на нем не остается льдин. Это объясняется, очевидно, условиями экспозиции каровой котловины, открытой для восточных и южных лучей солнца. Бирюзовый цвет воды озера, в котором, как в зеркале, отражаются покрытые снегом склоны, необычайно красив.

Озеро Кара-Кёль (фиг. 11, оз. 5) по своим размерам значительно уступает оз. Кёк-Кёль; площадь его зеркала едва достигает 9 га, при водосборной площади 0,5 км². Абсолютная высота уровня оз. Кара-Кёль равна 2870 м. Снежки и льды покрывают не более 1/4 площади водосбора. Оз. Кара-Кёль расположено к северо-западу от оз. Кёк-Кёль, в непосредственном с ним соседстве; котловины обоих озер разделяет узкий крутой скалистый гребень. Крутые, скалистые, голые склоны цирка, дно которого занято озером, придают мрачный вид озерной котловине, являющей резкий контраст с котловиной Кёк-Кёль. Недостаточное освещение поверхности озера солнцем приводит к замедленному таянию зимнего ледяного покрова. Так, в начале августа 1946 г., когда оз. Кёк-Кёль было совершенно свободно от льда, более 2/3 поверхности оз. Кара-Кёль еще находилось под покровом льда, толщиной около 15 см. Ледяной покров не позволил сделать промеры глубин по всей площади озера и измерения были проведены лишь в его северной части, где обнаружены глубины до 21,6 м. Температура воды у дна была близка к 2,5°.

Гранитный порог, местами трещиноватый и носящий следы занесенных галькой и песком промоин, отделяет северный берег озера от долины р. Уллу-Муруджу. Вода озера не имеет поверхностного выхода в долину, но на склоне последней наблюдаются родники, питающиеся, по всей вероятности, озерной водой. Родниковые воды падают по крутому склону в небольшое (также каровое) озеро, лежащее на 200—220 м ниже оз. Кара-Кёль.

Воды, вытекающие из Уллу-Муруджинских озер, впадают в р. Уллу-Муруджу, которая представляет собою пример типичной высокогорной реки, имеющей мощное оледенение в истоках, идеальной формы трог в среднем течении и крутую устьевую ступень (средний уклон 0,1, падение более 400 м) в нижнем.¹ Путь к Уллу-Муруджинским озерам проходит по тропе вдоль р. Уллу-Муруджу, а затем по крутому склону ее долины.

Озеро Хаджибей (фиг. 11, вблизи оз. 5) является типичным примером угасающего карового озера; оно расположено в труднодоступных

¹ По данным геодезического нивелирования, исполненного А. С. Клоповой в 1929 г.

истоках одноименной высокогорной реки (приток Теберды). Абсолютная отметка горизонта воды равна 2852 м.

Из общей площади водосборного бассейна 1,5 км² около 20% покрыто ледниками. По данным теодолитной съемки и промеров глубин, площадь озера равна 4,6 га, максимальная глубина 14,0 м и объем чаши 0,35 млн. м³. Каровый цирк оз. Хаджибей имеет необычную для подобных образований форму; только западные и северные его склоны круты, остальные пологи и лишь на 3—5 м возвышаются над поверхностью озера. На сглаженных склонах цирка сохранились остатки моренных отложений. Тропа к озеру идет по ущелью р. Хаджибей, покрытому густым лесом в нижней своей части и высокими травами в средней. Верхняя часть ущелья и подступы к озеру загромождены обломками скал, затрудняющими передвижение. Ниже оз. Хаджибей, по течению р. Хаджибей, расположены три или четыре угасшие каровые озерные чаши, полностью занесенные. В бассейне р. Хаджибей, на ее правом притоке, р. Бадук, расположены известные своей живописностью Бадукские озера.

Каровое происхождение имеет лишь самое верхнее из Бадукских озер, остальные образованы подпруживанием реки обвалами с прилегающих скалистых склонов и остатками ледниковой морены. Каровое Бадукское озеро невелико по площади.

Озеро Адуада-Адзышь (фиг. 11, оз. 12)¹ — крупнейшее каровое озеро Западного Кавказа, расположено в бассейне р. Кодори, в истоках р. Бытихах (приток р. Брамбы), стекающей с западных склонов Кодорского хребта. Абсолютная отметка горизонта воды озера равна 2385 м. Площадь оз. Адуада-Адзышь (фиг. 13) равна 33,7 га, при длине более 800 м и ширине 600 м.

Измерения глубин и теодолитная съемка показали, что чаша озера имеет воронкообразную форму с объемом 7,6 млн. м³ и максимальной измеренной глубиной 64 м. Чаша озера, так же как и склоны окружающих ее гор, сложена плотными песчаниками и сланцами лейаса с дайками порфирита.² Этими же породами слагается и порог почти отвесного уступа, отделяющего озеро от долины вытекающей из него речки. Уступ, имеющий высоту около 100 м, сглажен действием ледниковой эрозии. У подножья уступа ясно видны следы второго кара, почти полностью занесенного и превращенного в ровную, заболоченную площадку с небольшим (30×50 м) озерцом у ее западного края. Ручей, выходящий из нижнего озера, круто падает в долину р. Бытихах. Площадь водосборного бассейна оз. Адуада-Адзышь невелика (2,3 км²), так как озеро расположено почти у гребня хребта, вершины которого возвышаются лишь на 150—250 м над озерной поверхностью. Озеро получает питание как от значительных снежников южного и восточного склонов амфитеатра, так и от выпадающих здесь обильных осадков. Склоны озерной котловины имеют травянистый покров с группами кустов рододендрона и можжевельника.

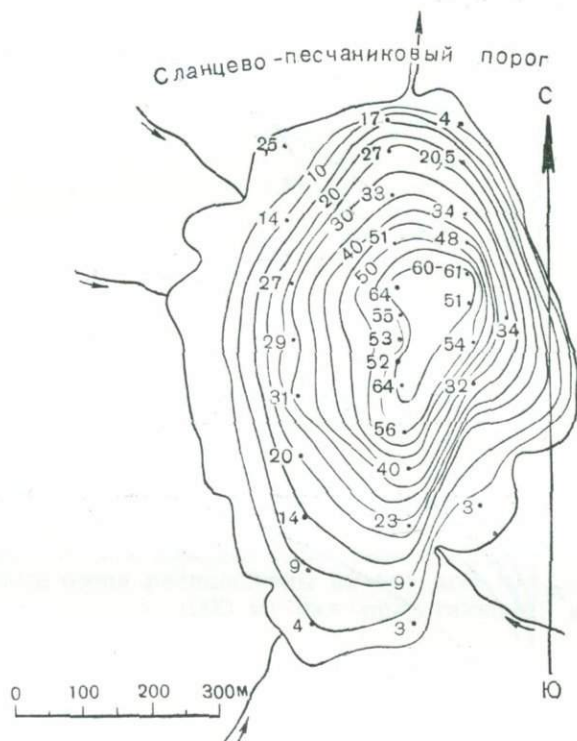
От Главного Кавказского хребта оз. Адуада-Адзышь удалено на 25—30 км. Две выючные тропы ведут к озеру: одна — из с. Генцвиш (на р. Кодори), через хребет Агарва и ущелье Кабирваш-Квара, вторая — от сел. Квезани.

Озеро Антоста (фиг. 11, оз. 12) расположено на высоте 2530 м над уровнем моря, в 1,5 км к юго-востоку от оз. Адуада-Адзышь. Площадь зеркала воды озера около 5 га, площадь его водосборного бас-

¹ Сванетское название Аднода.

² По данным Г. М. Васильченко.

сейна менее 1 км². На крупномасштабных картах это озеро не имеет названия и очертания его показаны неверно. Название дано участниками энергетического отряда Кавказской комплексной экспедиции СОПС АН СССР. Оз. Антоста находится в истоках левой ветви р. Кабирваш-Квара. Чаша озера имеет правильную форму ванны длиной 400 м и шириной 100—150 м, выпаханной льдом в песчано-сланцевых



Фиг. 13. План оз. Адуада-Адзышь. Промеры исполнены 19—20.IX 1946 г. Отметка горизонта воды озера 2385 м. Сечение изобат через 5 м.

отложениях верхнего лейаса, с дайками порфиристов. Сток из озера происходит по узкой промоине в пороге его северо-восточной части. При меженных горизонтах стояния воды сток осуществляется путем просачивания воды через морену, прикрывающую восточную часть порога. Ниже оз. Антоста можно наблюдать ряд угасших каровых котловин, расположенных в долине р. Кабирваш-Квара. По общему виду каровые образования Кодорского хребта аналогичны таковым Главного Кавказского хребта.

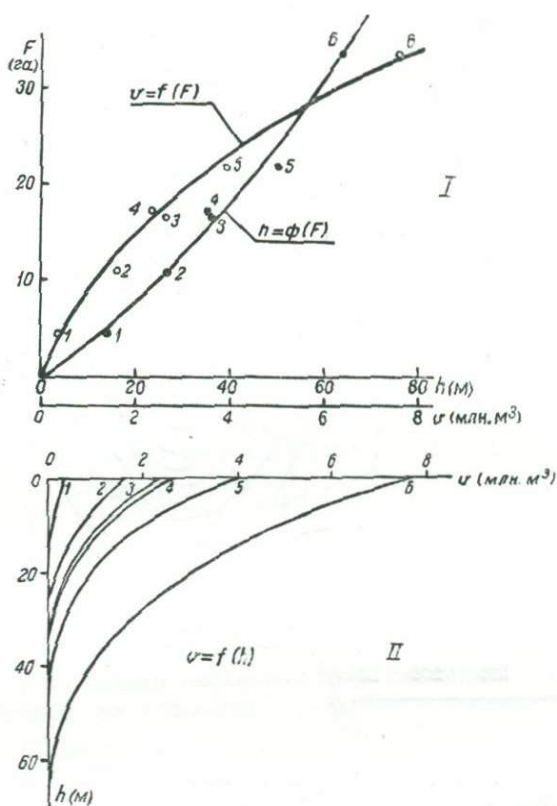
Озеро Окро-Цкали (фиг. 11, оз. 13) расположено в истоках р. Дарч, правого притока р. Ненскры (бассейн р. Ингури) на Свано-Абхазском горном хребте, западнее г. Ходжали.

Озеро лежит на 2421 м выше уровня моря в котловине, окруженной с трех сторон амфитеатром скал туфогенной свиты. Площадь зеркала воды озера равна 10,7 га, максимальная глубина 26,5 м и объем чаши 1,6 млн. м³.¹ Озеро питается небольшими ледниками и снежниками

¹ Промеры глубин с резиновой лодки при помощи лота и тахеометрическая съемка озер Кара-Кель, Хаджибей, Адуада-Адзышь и Окро-Цкали произведены в 1946 г. под руководством С. В. Клопова.

Свано-Абхазского хребта. Водосборная площадь озера равна 2,2 км². Порог, сложенный туфобрекчиями, отделяет на севере чашу озера от глубокой долины р. Дарч, дно которой лежит почти на 700 м ниже уровня воды озера.

По берегу оз. Окро-Цкали проходит скотопрогонная тропа, соединяющая высокогорные пастбища Чамхарх со средним течением р. Ингури, через перевал Эргзашира.



Фиг. 14. Характеристика чаш некоторых каровых озер Кавказа:

I — кривые зависимости максимальных глубин и объемов каровых озер от площадей зеркала; *II* — кривые зависимости объемов чаш каровых озер от глубин. v — объем чаши; h — глубина (в м); F — площадь зеркала (в га).

Примечание. 1 — 6 — номера озер, соответствуют номерам озер табл. 8.

Данные изучения каровых озер Северного и Западного Кавказа с подробными инструментальными измерениями наиболее крупных из них позволили установить зависимость между площадями зеркала, максимальными глубинами и объемами чаш каровых озер. Эта зависимость (фиг. 14), установленная на основе изучения чаш шести озер Кавказа (табл. 8, озера № 1—6)¹, объясняемая сходными условиями образова-

¹ С. В. Клопов «Технические и технико-экономические особенности использования энергии малых горных рек Северного Кавказа», 1942 г. и А. С. Клопова. «Каровые озера Большого Кавказа» (раздел научного отчета Энергетического отряда Кавказской комплексной экспедиции СОПС АН СССР за 1946 г.). Фонды СОПС АН СССР.

ния и жизни каровых котловин (обуславливающими подобие озерных чаш), выражается в виде:

$$V = 8,7 F^{0,668},$$

где V — объем чаши в млн. м³,

а F — площадь зеркала воды в га.

Зависимость дает возможность по величине площади зеркала воды приближенно судить об объеме чаши, без непосредственных, весьма трудоёмких и часто опасных измерений глубин.

Несмотря на незначительную величину водосборных площадей, сток из изученных озер сравнительно велик, что объясняется большим количеством осадков в высокогорных районах. Средний многолетний модуль стока для ряда районов, где развиты каровые озера, значительно превышает 50 л/сек, а для некоторых достигает 75 л/сек и даже 100 л/сек (бассейн Чхалты — притока р. Кодори).

Чаши почти всех обследованных каровых озер образованы в прочных (в большинстве случаев — кристаллических) горных породах. Они отделены от ближайших речных долин массивными порогами, высотой до нескольких десятков метров, прорезанными узкими руслами вытекающих из озер ручьев. Дно озерных чаш, как это показали исследования оз. Сылтран-Кёль, покрыто глинистыми отложениями. Топографические и геологические условия, а также наличие местных строительных материалов (камень, галька, песок, глина), в случае энергетического использования каровых озер, обычно благоприятствуют устройству плотин, обеспечивающих повышение горизонта воды в озере.

Все изученные озера расположены на больших относительных высотах (часто превышающих 1000 м) над прилегающими к ним речными долинами.

Указанные особенности каровых озер Северного и Западного Кавказа делают возможным их энергетическое использование, вопросы которого рассматриваются дальше.

б. Регулирующие возможности каровых озер Северного и Западного Кавказа

Наиболее общая характеристика энергетического значения каровых озер Северного и Западного Кавказа может быть получена путем определения их потенциальной энергетической емкости. Необходимые для такой характеристики данные по ряду крупных каровых озер Северного и Западного Кавказа приведены в табл. 9.

Данные табл. 9 показывают, что в каровых озерах возможно создать существенную энергетическую емкость и оказать значительное регулирующее влияние на высокогорный сток. Так, только озера, приведенные в этой таблице, обладают 0,5—0,75 млрд. квтч регулирующей промышленной емкости и могут обеспечить выравнивание мощности гидроэлектрических станций на незарегулированном стоке рек с годовой отдачей до 2—3 млрд. квтч.

Из исследованных озер наиболее эффективным явится использование оз. Сылтран-Кёль и Уллу-Муруджинских озер на Северном Кавказе, озер Адуада-Адзышь и Антоста — на Западном. Использование регулирующей способности этих озер, как будет показано дальше, оказалось бы чрезвычайно полезным для развития гидроэнергетики Северного и Западного Кавказа.

Потенциальная энергетическая емкость некоторых каровых озер Северного и Западного Кавказа

Озеро	Бассейн реки	Полезный объем чаши $V_{п.оз}$ (в млн. м ³)		высота подпора (в м)	Напор H (в м)		Используемый годовой сток $W_{год} = 2V_{п.оз}$ (в млн. м ³)		Площадь водосборного бассейна (в км ²)			Энергетическая емкость искусственно-го объема $V_{э}$ (в млн. квтч)				Показатель промышлен. эффективности $(V_{э})_{уд}$ (в квтч/м ³)	
		естественный	искусственный		абсолютный	относительный	естественный	искусственный	необходимая при искусств. объеме		фактическая F	потенциальная		промышленная		абсол.	относит.
									годин. регулир. $F_{год}$	перерегулиров. $F_{ГЭРР}$		абсол.	относит.	абсол.	относит.		
Уллу-Кёль	Учкулан (Кубань)	(2,3)	(15,5)	35	2816	1170	4,6	31,0	40,0	20,0	3,5	118	50	81	40	5,2	2,6
Клухори	Гоначхир (Кубань)	2,6	(16,5)	35	2692	1000	5,2	33,0	17,2	8,6	3,1	126	45	72	36	4,4	2,2
Кёк-Кёль	Уллу-Муруджу (Кубань)	3,9	(19,0)	35	2844	1450	9,8	42,4	26,6	13,3	1,5	164	84	115	67	5,4	3,2
Кяфар	Б. Зеленчук (Кубань)	(3,2)	(17,5)	35	2340	1100	6,4	35,0	44,0	22,0	Нет данных	112	52	90	42	5,2	2,4
Загедан (три озера)	Б. Лаба (Кубань)	(2,0)	(16,0)	35	2575	1400	4,0	32,0	28,8	14,4	То же	112	61	80	49	5,0	3,1
Адуала-Адзышь	Брамба (Кодори)	7,6	(30,0)	35	2385	2260	15,2	58,0	25,2	12,6	2,3	195	185	154	148	5,1	4,9
Окро-Цкали	Дарч (Ингури)	1,6	(13,0)	35	2421	800	3,2	26,0	10,8	5,4	2,2	85	28	56	22	4,3	1,7
Сылтран-Кёль	Баксан (Терек)	2,3	(20,0)	35	3213	1688	4,6	40,0	25,2	12,6	4,7	175	90	111	72	5,5	3,6
Всего . . .												1087	595	759	476	—	—
Среднее															5,0	3,2	

Примечание. В скобках — вероятные значения. Вычисления произведены по формулам С. В. Клопова [20].

- $V_{п. оз}$ — полезный объем озерной чаши (в млн. м³), естественный и искусственный (получаемый при подпоре горизонта воды озера плотиной);
- H — напор брутто (в м), который может быть использован гидроэлектрическими установками, регулируемыми озерным водохранилищем; абсолютный ($H_{абс}$), т. е. разность отметок горизонта воды озера и уровня моря и относительный ($H_{отн}$) — возможный напор брутто приозерной гидроэлектрической станции;
- $W_{год}$ — объем годового стока, который может быть зарегулирован в чаше озерного водохранилища (принят равным двойному полезному объему чаши озера, так как в высокогорных условиях рассматриваемого района можно считать $\beta_{г.р} \approx 0,5$);
- $F_{год}$ — площадь водосборного бассейна (в км²), годовой сток с которой может быть зарегулирован озерным водохранилищем:

$$F_{год} = \frac{63 V_{п. оз}}{m},$$

где m — модуль стока (в л/сек);

$F_{ГЭРР}$ — площадь водосборного бассейна (в км²), годовой сток с которой может быть перерегулирован и использован для устройства зимних озерных ГЭРР, работающих в системе с установками на реках ледникового режима:

$$F_{ГЭРР} = 0,5 F_{год};$$

$V_{э}$ — энергетическая потенциальная емкость (квтч) озерного водохранилища;

$$V_{э} = \frac{\alpha}{3600} \cdot V_{п. оз} \cdot H = 2,725 \cdot 10^{-3} \cdot V_{п. оз} H, \text{ при } \alpha = 9,81; \text{ относительная —}$$

при $H = H_{отн}$, абсолютная — при $H = H_{абс}$, естественная — при использовании только естественного объема чаши водохранилища $V_{п.}$, искусственная — при искусственно увеличенном объеме озерного водохранилища;

$V_{э \text{ пром}}$ — энергетическая, промышленная емкость, абсолютная ($V_{э \text{ пром. абс}} = (V_{э \text{ отн}})_{(r_{пр})N} + [(V_{э \text{ абс}} - (V_{э \text{ отн}})_{(r_{пр})N}] (r_{пр})N$). Так как предполагается, что относительный напор используется полностью, а далее возможны разрывы между ГЭС регулируемого каскада, учитываемые топографической поправкой K_T , относительная — $(V_{э \text{ пром. отн}} = (V_{э \text{ отн}})_{(r_{пр})N} = 0,8 (V_{э \text{ отн}})$, так как относительный напор предполагается использовать полностью.

$(V_{э \text{ уд}})$ — удельная энергетическая промышленная емкость на единицу объема, при использовании всего возможного напора (в квтч/м³).

Высота подпора для увеличения объема озерной чаши всюду в расчетах принята одинаковой (35 м), хотя в некоторых случаях она могла бы по местным условиям быть значительно большей. Пределом увеличения полезной емкости озерных водохранилищ в ряде из них будет являться не возможная высота подпора, которому обычно благоприятствуют условия геологии и топографии каровых чаш, а трудность заполнения созданной емкости, для чего потребуются специальные искусственные сооружения по сбору и подаче стока в озерную чашу, так как стока, поступающего в озера естественным путем, окажется недостаточно.

Табличные данные показывают, что разрывы между фактической площадью водосбора озер и площадью, необходимой для полного использования их регулирующей емкости, весьма значительны, причем, по условиям сбора стока, использование озерных чаш для устройства ГЭРР оказывается значительно выгоднее, чем для простого регулирования стока на среднюю годовую мощность, так как требует вдвое меньшей водосборной площади. По удельному показателю энергетической емкости наиболее эффективным представляется использование относительного напора проектируемых озерных ГЭС Адуада-Адзышь и Сылтран.

Глава 5

ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ МАЛЫХ ВОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ
СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Малые водные энергетические источники Северного и Западного Кавказа — энергия малых рек, родников и перепадов искусственных ирригационных и обводнительных каналов, пригодных для использования малыми гидросиловыми установками, по приближенным подсчетам для некоторых типичных бассейнов горных рек составляют около 25% всех среднегодовых потенциальных русловых запасов водной энергии этих рек [10, 12].¹ Наибольшую насыщенность малыми водными силами имеют высокогорные районы, минимальную — степные, предгорные районы. Предгория Главного Кавказского хребта характеризуются средней насыщенностью малыми водными силами.

Источники малых водных сил Северного и Западного Кавказа могут быть отнесены к следующим типичным группам: высокогорные малые реки, среднегорные малые реки, предгорные, степные малые реки, искусственные каналы, родники.

Каждый из перечисленных типов источников малых водных сил характеризуется особыми естественными условиями (режим стока, топографические, геологические особенности) и присущей ему принципиальной схемой использования энергетических ресурсов.

Высокогорные малые реки имеют преобладающее ледниковое или снеговое высокогорное питание. Их гидрологической особенностью являются высокие летние паводки и длительное осенне-зимнее маловодье (с абсолютным минимумом в феврале — апреле), сопровождаемое образованием шуги и донного льда. Сток малых высокогорных рек Северного и Западного Кавказа почти не изучен. Циклы стационарных наблюдений различной длительности были проведены лишь на немногих малых реках, в том числе в истоках Малки и на ее притоках Бирджала и Каракая-су, на притоках р. Баксан — Адыл-су, Ирик и Гунделен, на реках бассейна Теберды — Уллу-Муруджу и Клухори, на притоке Мзымты — Бешенке, на притоках Ардона — Садоне и Цейдоне, на притоке Уруха — Сангутидоне, на некоторых высокогорных притоках Терека и т. д.

В связи с изучением проблемы использования высокогорного стока, Энергетическим отрядом Кавказской комплексной экспедиции Совета по изучению производительных сил Академии Наук СССР летом 1941 г. и ранней весной 1942 г. были проведены поплавковые измерения расходов воды ряда малых рек бассейна Малки. Данные этих замеров приведены в табл. 10. Они показывают, что зимние минимальные расходы воды малых высокогорных рек значительно ниже, чем предполагалось ранее. Руслу высокогорных рек характеризуются крутыми продольными профилями, с уклонами, нередко превышающими 10%, и с особенно резко выраженной устьевой ступенью. На этих реках обычно отсутствуют расширения долин, удобные для устройства регулирующих водохранилищ. Высокогорные долины отличаются преобладанием скалистых обнажений и наличием на склонах обломков и мощных осыпей. Многие участки высокогорных долин подвержены действию лавин. Обилие на крутых склонах мелких продуктов эрозии часто во время летних ливней приводит к образованию разрушительных селевых потоков.

¹ При этом обычно учитываются лишь малые притоки первого и, отчасти, второго порядка; малые реки более высоких порядков, а также склоновый сток не учтены.

Таблица 10

Расходы воды малых высокогорных рек бассейна Малки
за VI—VIII 1941 г. и III—IV 1942 г.
(по данным поплавокных замеров)

Название реки и пункт проведенных измерений	Дата и час измерений				
	расход воды (в м ³ /сек)				
Баксан (у нарзан- ных ванн)	14.VIII—17 ³⁰	16.VIII—10 ¹⁰	18.VIII—7 ⁰⁰		
	10,5	8,4	6,4		
Адыр-су (у устья)	20.VI—10 ⁰⁰	21.VI—15 ⁰⁰	21.VI—18 ⁴⁵	1.VII—14 ⁰⁰	20.VIII—8 ⁰⁰
	5,8	5,3	4,8	3,4	4,8
	29.III	9.IV	11.IV	12.IV	14.IV
	0,74	0,50	0,61	0,92	0,77
	15.IV	16.IV	17.IV	18.IV	23.IV
	0,98	0,60	0,58	0,61	0,65
Кыртык (у устья)	21.VI—9 ⁰⁰	21.VI—14 ⁰⁰	21.VI—19 ⁰⁰	1.VII—13 ⁰⁰	20.VIII—7 ³⁰
	4,0	3,5	4,1	3,0	2,7
	9.IV	11.IV	13.IV	14.IV	15.IV
	0,35	0,36	0,38	0,58	0,84
	16.IV	17.IV	23.IV		
	0,56	0,55	0,64		
Кыртык у молоч- ной фермы (истоки)	22.VI—17 ⁰⁰	22.VI—13 ³⁰	23.VI—7 ⁰⁰		
	1,1	1,2	1,0		
Мукал у молоч- ной фермы (устье)	22.VI—16 ³⁰	22.VI—20 ⁰⁰	23.VI—7 ⁵⁰		
	0,59	0,66	0,60		
Су-Баши у молоч- ной фермы (устье)	22.VI—16 ⁰⁰	22.VI—20 ¹⁵	23.VI—7 ³⁰		
	0,48	0,51	0,37		
Сылтран-су (у устья)	21.VI—9 ⁴⁰	21.VI—14 ³⁰	21.VI—19 ²⁰	1.VII—13 ²⁰	20.VIII—7 ⁰⁰
	0,63	0,77	0,84	0,41	0,46
	9.IV	10.IV	11.IV	14.IV	17.IV
	0,036	0,060	0,054	0,084	0,060
	23.IV				
	0,068				
Сылтран-су (у оз. Сылтран-Кёль)	19.VII—10 ⁴⁵	20.VII—15 ²⁰	19.VIII—15 ⁰⁰		
	0,42	0,49	0,25		

• Продолжение табл. 10

Название реки и пункт проведенных измерений	Дата и час измерений				
	расход воды (в м ³ /сек)				
Донгуз-Орун (в 1 км выше устья)	3.VII—14 ⁰⁰	15.VIII—12 ³⁰			
	3,4	3,2			
Азау (в 1 км выше устья р. Донгуз- Орун)	3.VII—11 ³⁰				
	3,6				
Терскол (у устья)	3.VII—15 ³⁰	18.VIII—10 ⁰⁰			
	1,5	1,4			
Когутай (у нарзан- ных ванн)	18.VIII—14 ⁰⁰				
	0,31				
Гижгид (у устья)	20.IV				
	0,12				
Гунделен (у устья)	5.IV				
	2,52				
Кич-Малка (у плем. совхоза)	13.VII—18 ²⁰	14.VII—7 ⁴⁵			
	0,57	0,57			
Хасаут (в долине нарзанов)	11.VII—9 ²⁰				
	0,57				

Озерные котловины, встречающиеся иногда в бассейнах малых высокогорных рек, могут служить для сезонного регулирования их стока. В этих (сравнительно редких) случаях энергетическое использование малой высокогорной реки приобретает интерес не только для целей местного энергоснабжения, но и для решения более широкой энергетической задачи — устройства регулирующих гидроэлектрических станций средней мощности, работающих в системе с установками, не имеющими регулирования.

Северной границей распространения малых высокогорных рек на Северном Кавказе является Скалистый хребет. Ориентировочно можно считать, что бассейны малых высокогорных рек Северного и Западного Кавказа полностью расположены выше абсолютной отметки 1000 м.

Потенциальные гидроэнергетические ресурсы малых высокогорных рек Северного и Западного Кавказа изучены слабо. Сравнительно подробному изучению подвергались некоторые бассейны малых высокогорных рек системы Терека и Кубани и рек южного склона, которые послужили для характеристики и приближенного, по методу базисных бассейнов, подсчета гидроэнергетических ресурсов малых высокогорных рек Кабардинской АССР, Северо-Осетинской АССР и южной части

Краснодарского края. При характеристике потенциальных запасов энергии малых высокогорных рек как источников малых водных сил должна быть особо учтена мощность круглогодовой обеспеченности, ибо сезонное регулирование стока этих рек при использовании малыми установками, как правило, невозможно. Представляет интерес также мощность 75% обеспеченности, как предел установленной мощности малых ГЭС.

Исследование закономерности распределения потенциальной мощности по длине малых рек показывает, что графическое изображение колебания гидроэнергетического модуля в бассейне малой реки (имеющей более или менее постоянный по всей своей площади модуль стока), по своим очертаниям близко к зеркальному изображению линии ее продольного профиля [18]. Наибольшая точность зеркального изображения (расхождения не превышают нескольких процентов) имеет место у рек с правильными плавными очертаниями продольного профиля и с малыми колебаниями модуля стока по длине реки. Таким образом, если выразить длину реки, ее падение и гидроэнергетический модуль для различных участков бассейна в процентах от соответствующих полных значений, то шкалы высот H и удельных мощностей M_3 оказываются качественно (с точностью до 10—20%) взаимозаменяемыми, и для любого створа реки может быть приближенно найден гидроэнергетический модуль:

$$(M_3)_x = (1 - 0,01H_x) M_3. \quad (1)$$

Мощность реки от истоков до створа x :

$$N_x = (1 - 0,01H_x) F_x M_3 \quad (2)$$

и мощность реки на любом участке $x-y$:

$$N_{x-y} = 0,005 (H_x - H_y) \frac{F_x + F_y}{2} M_3, \quad (3)$$

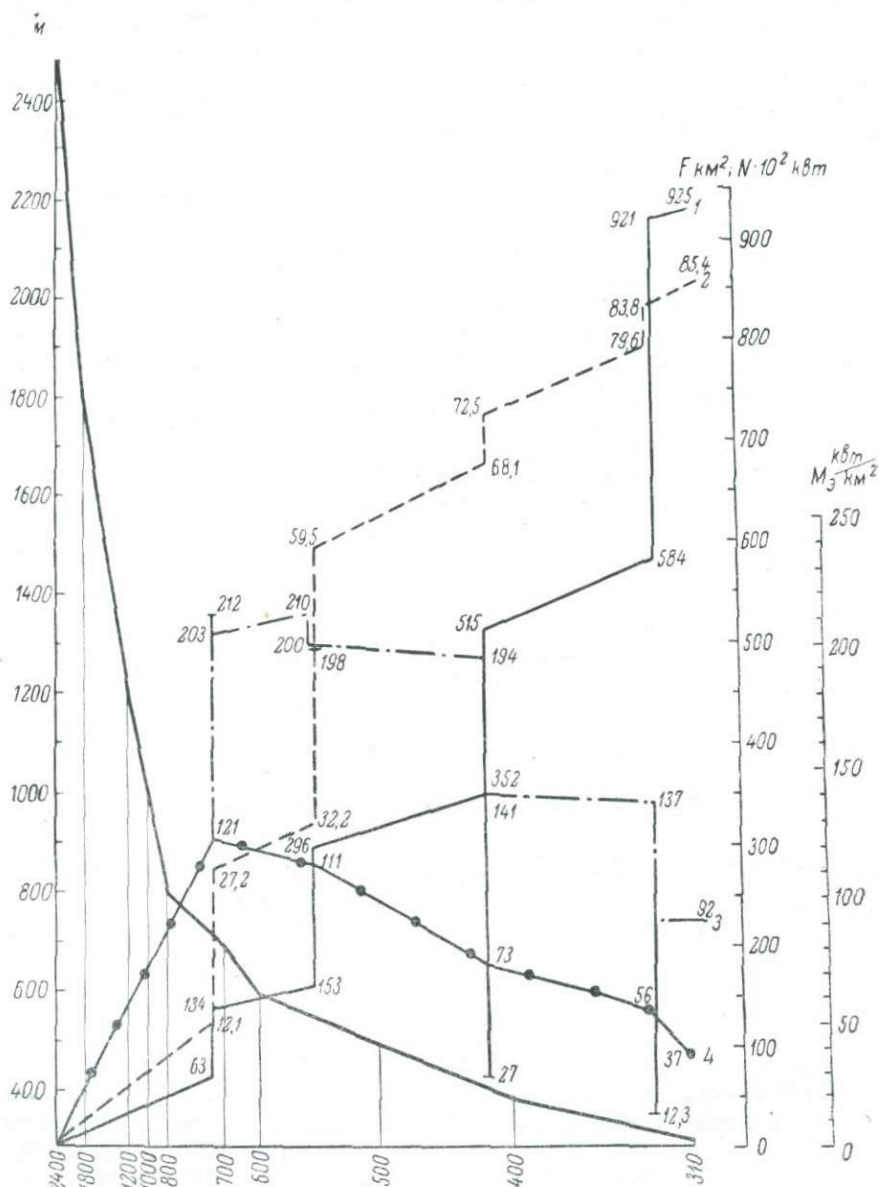
где M_3 — гидроэнергетический модуль для всего бассейна (т. е. удельная мощность, отнесенная к 1 км² площади бассейна, в квт/км²), который может быть найден по методу базисных бассейнов [18]; $F_x, F_y (M_3)_x, (M_3)_y$ — площади бассейна и гидроэнергетические модули для створов верхнего x и нижнего y по течению реки; H_x и H_y — превышения створов x и y над устьем реки, в процентах от суммарного ее падения от истока до устья.

При значительных колебаниях модуля стока в пределах исследуемого бассейна (что обычно имеет место в высокогорных и предгорных бассейнах) в приведенные формулы должны быть введены поправочные коэффициенты K_m , выражающие отношение модуля стока среднего для участка бассейна от истоков реки до данного створа (m_x или m_y) к модулю стока среднему для всего бассейна m , т. е. $(K_m)_x = \frac{m_x}{m}$

$$\text{и } (K_m)_y = \frac{m_y}{m}.$$

Закономерность колебаний модуля стока в бассейнах малых высокогорных рек совершенно не изучена, но имевшие место наблюдения показали, что эти колебания (иногда весьма значительные) различны для разных рек, даже расположенных в непосредственном соседстве друг к другу. На фиг. 15 приведена энергетическая характеристика малой горной реки по методу базисных бассейнов.

Весьма разнообразны также и продольные профили малых высокогорных рек, имеющие, однако, общую черту — крутой устьевой перепад.

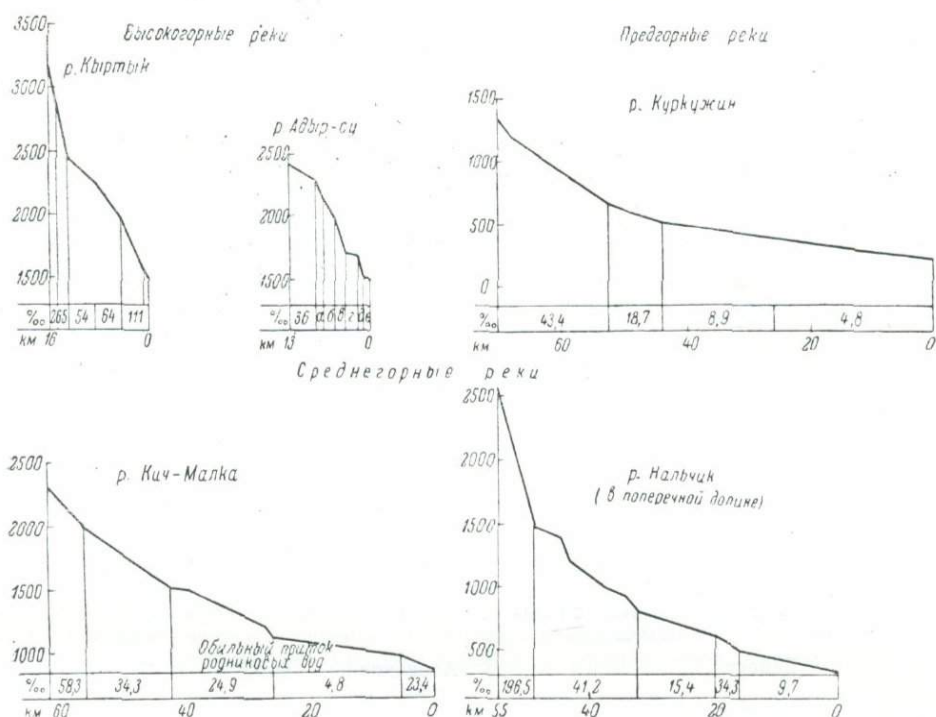


Фиг. 15. Энергетическая характеристика горной реки (по методу базисных бассейнов):

1 — площадь бассейна F (в км²); 2 — потенциальная мощность N (в тыс. квт); 3 — гидроэнергетический модуль бассейна $(M_g)_6$ (в квт/км²); 4 — гидроэнергетический модуль реки $(M_g)_p$ (в квт/км²); тилл — гидроэнергетический модуль притока (в квт/км²); отметки (в м).

На фиг. 16 приведены две характерные высокогорные реки: р. Кыртык с установившимся продольным профилем и с малой площадью оледенения (14% всей водосборной площади) и р. Адыр-су с большим оледенением (38%) и неустановившимся профилем русла.

В табл. 11 приведены данные о потенциальных мощностях некоторых характерных высокогорных рек. Потенциальная мощность высокогорных рек в бассейнах основных горных рек Северного и Западного Кавказа может быть принята равной 15—20% мощности последних.



Фиг. 16. Характеристика типичных малых рек Северного Кавказа.

Малые высокогорные реки Северного и Западного Кавказа представляют большой интерес в отношении гидроэнергетического использования.

Гидростанции небольшой мощности (от нескольких сотен до нескольких тысяч киловатт) на высокогорных реках нередко способны дать энергию более дешевую, чем такие же и более крупные ГЭС на основных горных реках. При этом возможно применение облегченных конструкций.

Наиболее интересными являются в этом отношении устьевые участки малых высокогорных рек, чрезвычайно крутое падение которых обусловлено переуглублением базиса их эрозии (долина основной горной реки) действием древних мощных ледников.

Принципиальное значение этого фактора для гидроэнерго-строительства на малых высокогорных реках подтверждается нашим обследованием 20 малых рек в бассейне р. Баксан, использование устьевых ступеней которых позволяет получить средний удельный напор на 1 пог. км деривации (включая напорный трубопровод) около 174 м (колеблется от 37 до 520 м) и среднюю среднегодовую удельную мощность 1,5 тыс. квт (пог. км), колеблется от 0,24 до 5,4 тыс. квт (пог. км).

Не менее интересными в этом отношении являются малые реки и других районов высокогорного Северного и Западного Кавказа. Притоки Терека, Аргуна, Ардона, Уруха, Малки, Кубани и составляющих

Таблица 11

Характеристика некоторых малых рек Северного
и Западного Кавказа

Реки	Бассейн	Потенциальная мощность основного русла	
		всего (в тыс. квт)	удельная ¹ (в квт)
Высокогорные:			
Цейдон	Ардон	11,0	108,0
Геналдон	"	30,2	170,0
Сангутидон	Урух	26,0	131,0
Адыр-су	Баксан	24,0	200,0
Кыртук	"	18,5	141,0
Булуңгу	Чегем	12,2	277,0
Дых-су	Черек	17,0	140,0
Уллу-Муруджу	Теберда	17,1	374,0
Среднегорные:			
Камбилеевка	Терек	23,2	27,0
Белая (Урсдон)	"	34,5	37,0
Гунделен	Баксан	36,5	60,0
Мацеста	Черное море	4,9	74,0
Псий	Шахе	4,1	191,0
Цусхвадж	Черное море	2,6	79,0
Лоо	" "	1,4	40,0
Чимит	" "	2,5	75,0
Предгорные степные:			
Бейсуг	Азовское море	0,35	0,07
Кирпили	То же	0,22	0,08
Куркужин	Малка	15,00	30,00

¹ На 1 км² площади бассейна (гидроэнергетический модуль).

ее Учкулана и Уллукама, Теберды, Аксаута, Маруха, Б. Зеленчука, Б. и М. Лабы и Белой, а также рек Дагестана и Черноморского побережья, расположенных в пределах зоны древнего оледенения, как правило, имеют большие уклоны на устьевых участках и могут явиться источниками для сооружения наиболее эффективных гидроэлектростанций небольшой мощности.

В табл. 12 приведены, в виде примера, данные, характеризующие гидроэнергетические ресурсы устьевых участков некоторых малых высокогорных рек бассейна р. Баксан.

Для сравнения условий гидроэнергетического использования устьевых участков малых высокогорных рек с условиями использования энергии крупных горных водотоков можно указать, что среднегодовая удельная промышленная мощность р. Баксан, в пределах участка используемого Баксанской ГЭС средней мощности, составляет лишь около 2,5 тыс. квт/пог. км, причем средний годовой расход воды (35 м³/сек) здесь во много раз больше, чем у любой из сравниваемых рек.

Если сопоставить удельные мощности устьевого участка р. Адыр-су и участка, используемого Баксанской ГЭС, оказывается, что Баксанская

Таблица 12

Энергетическая характеристика устьевых участков некоторых малых высокогорных рек бассейна р. Баксан

Река	Площадь (в км ²)		Средний многолетний расход воды (в м ³ /сек)	Используемые устьевой ГЭС			Промышленная средняя годовая мощность (в тыс. квт)	
	бас-сейна	в том числе ледников		напор брутто (в м)	длина деривации (в км)	удельный напор (в м/пог. км)	абсолютная	удельная на 1 пог. км деривации
Притоки р. Баксан:								
Ирик	85,0	21,84	1,70	600	3,5	170	8,2	2,35
Адыр-су	120,0	46,36	5,80	150	1,3	115	7,0	5,40
Кыртык	130,0	18,00	1,30	400	2,5	160	4,2	1,68
Притоки р. Черек:								
Рцывашки	25,0	10,21	1,40	400	1,2	335	4,5	3,80
Чайнашки	67,4	2,00	0,50	220	1,8	122	0,9	0,49
Черек - Безенгийский	640,0	103,30	13,50	30	0,8	37	3,9	4,06

Примечания. 1. В длину деривации включена длина напорного трубопровода.
2. При определении среднего многолетнего расхода воды применен метод аналогий.

3. Средняя годовая промышленная мощность определена по формуле $N = 8QH$.

4. Промышленная мощность 75% обеспеченности устьевых участков высокогорных рек, как правило, не имеющих регулирования, может быть найдена путем введения в среднюю годовую мощность поправочных коэффициентов за неполноту использования стока, который для 75% обеспеченности установленной мощности составит около 0,30.

5. Минимальная промышленная мощность составит около 20% среднегодовой мощности.

ГЭС использует участок реки, имеющий в 2,25 раза меньшую удельную мощность при расходе воды почти в шесть раз большем, чем в р. Адыр-су.

Таким образом, на 1 м³/сек используемого расхода воды устьевых участков высокогорной реки может быть получена в несколько раз большая мощность, чем на основной горной реке.

По некоторым перечисленным в таблице рекам средняя мощность, отнесенная на 1 м³/сек, в десять и более раз выше, чем используемая на Баксанской ГЭС.

Использование относительно меньших расходов воды на единицу мощности приводит к уменьшению удельных объемов строительных работ, облегчению типов сооружений и, следовательно, к значительному снижению капиталовложений и сроков постройки ГЭС. Расположение станционных узлов устьевых ГЭС в долинах основных рек и отмеченные выше особенности позволяют рекомендовать их постройку, в первую очередь, для целей местного энергоснабжения.

Условия энергетического использования устьевых участков малых высокогорных рек характеризуются приведенными ниже примерными предварительными схемами возможных ГЭС, постройка которых позволила бы обеспечить электроэнергией народное хозяйство прилегающих к ним горных районов Кабардинской АССР и Грузинской ССР.

Схемы этих ГЭС выбраны на устьевых участках рек Адыр-су, Чайнашки и Рцывашки, с учетом местных потребностей в электроэнергии.

ГЭС на р. Адыр-су (правый приток р. Баксан) намечена для энергоснабжения Верхне-Баксанского микрорайона. Электропотребление прилегающего к проектируемой ГЭС микрорайона может составить:

Колхозные хозяйства	— 140 квт	круглый год
Курортные хозяйства	— 80	" "
Лагерные хозяйства	— 300	" май — октябрь

Всего: 520 квт

На устьевом участке р. Адыр-су можно получить мощность 2 тыс. квт, обеспеченную в течение восьми месяцев в году. Таким образом, Адыр-ГЭС сможет отпускать 1—1,5 тыс. квт для питания близлежащих горнопромышленных предприятий Тырны-Аузского комбината и должна быть включена в сеть Баксанской ГЭС.

Схема Адыр-ГЭС рассчитана на использование расхода воды 1,5 м³/сек и состоит из плотины с донным водозабором, двухкамерного отстойника, открытого, облицованного деревом канала длиной 600 м, безнапорного тоннеля длиной 770 м, диаметром 1,75 м с цементированным лотком на его дне (без сплошной облицовки всего сечения тоннеля), напорной камеры и напорного трубопровода длиной 220 м и диаметром 700 м. Напор нетто составляет 143 м (фиг. 17).

ГЭС на р. Чайнашки могла бы снабжать энергией обособленный высокогорный район, расположенный в верхней части течения р. Черек, на расстоянии около 70 км от г. Нальчика. Необходимая для удовлетворения всех сельских потребителей района мощность электростанции должна составлять около 260 квт. Возможные потребители энергии — небольшие селения и колхозные предприятия.

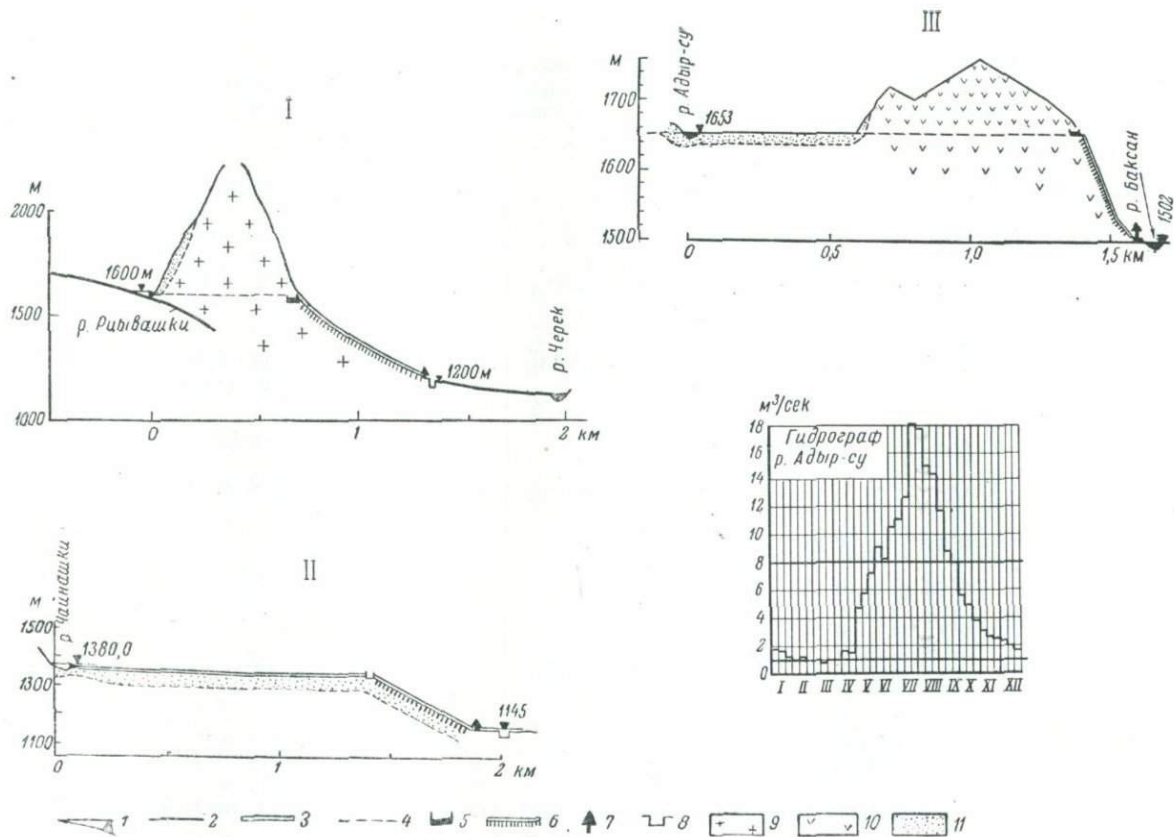
ГЭС необходимой мощности может быть построена на устьевом участке малой высокогорной р. Чайнашки, впадающей в р. Черек. В схему ГЭС Чайнашки входит плотина с донным водозабором, отстойник, деривационный деревянный трубопровод диаметром 350 мм и длиной 1345 м, рассчитанный на пропуск расхода воды 0,22 м³/сек, напорный бассейн, напорный трубопровод длиной 450 м и диаметром 300 мм и здание ГЭС, вмещающее агрегат с турбиной Пельтона.

При используемом напоре нетто 193,7 м, мощность ГЭС составляет 290 квт и обеспечена 330 дней в маловодный год. Отработанная вода поступит в оросительный канал (фиг. 17).

ГЭС на р. Рцывашки может обеспечить электроэнергией район, снабжаемый гидроэлектростанцией на р. Чайнашки, при дальнейшем увеличении здесь энергопотребления. Река Рцывашки, правый приток р. Черек, имеет на устьевом участке весьма большое падение, позволяющее сосредоточить напор нетто 375 м при длине деривационного тоннеля всего лишь 700 м. В схему установки входят плотина с донным водозабором, отстойник, безнапорный тоннель диаметром 1,75 м (без облицовки всего сечения), с цементированным лотком для пропуска расхода воды 0,3 м³/сек, обеспеченного в средний год на 100%. Напорный трубопровод имеет длину 700 м и диаметр 340 мм. Здание ГЭС вмещает два агрегата общей мощностью 900 квт. Сброс воды производится в оросительный канал.

Энергоэкономические показатели типичных небольших ГЭС на устьевых участках малых высокогорных рек бассейна р. Баксан, приведенные в табл. 13, достаточно ярко характеризуют их высокую эффективность.

Среднегорные малые реки не имеют ледникового питания и получают сток за счет ежегодных атмосферных осадков и грунтовых вод. Большинство рек Северного Кавказа, принадлежащих к этому типу,



Фиг. 17. Схемы малых ГЭС на высокогорных реках (бассейн р. Баксан):

1 — схема ГЭС на р. Рываншки; II — схема ГЭС на р. Чайвашки; III — схема ГЭС на р. Адыр-су; 1 — головной узел; 2 — канал; 3 — деривационный трубопровод; 4 — тоннель; 5 — напорная камера; 6 — напорный трубопровод; 7 — здание ГЭС; 8 — оросительный канал; 9 — граниты; 10 — магматиты; 11 — наносы.

Таблица 13

Параметры и энергоэкономические показатели некоторых ГЭС небольшой и средней мощности в бассейне р. Баксан

Наименование ГЭС	Тип ГЭС	Наименование источника	Тип реки	Участок реки	Напор нетто (в м)	Расчетный расход воды (в м³/сек)	Мощность (в тыс. квт)	Капиталовложения	
								на 1 квт (в тыс. руб.)	на 1 квтч (в руб.)
Камыкская	Деривационная	Баксан	Горная	Средний	90,0	12,0	7,5	8,8	1,40
Гижгитская	"	"	"	"	122,5	12,6	12,4	7,8	1,03
Баксан I	"	"	"	"	89,0	35,0	25,0	8,4	1,50
Баксан II	"	"	"	"	53,5	18,4	8,8	7,4	1,23
Адыр	"	Адыр-су	Высокогорная	Устьевой	153,0	1,8	2,0	4,4	0,60
Кыртык	"	Кыртык	"	"	529,0	0,8	3,2	5,0	0,80
ГЭС № 1 } ГЭС № 3 }	На перепадах канала	Канал Баксан—Малка	Обводнительный канал	Перепады	24,0	15,0	3,0	5,0	0,72
37,0					15,0	4,0	5,0	0,72	
Безенгийская	Деривационная	Черек Безенгийский	Горная	Устьевой	31,0	3,0	0,75	5,2	0,54
Рцывашки	"	Рцывашки	Высокогорная	"	375,0	0,3	0,9	3,0	0,32
Чайнашки	"	Чайнашки	"	"	194,0	0,2	0,3	4,0	0,50

Примечания. 1. Стоимости ГЭС подсчитаны по единому методу (приведенного бетона) в ценах 1949 г. и по равноценным исходным данным рекогносцировочных исследований.

2. Данные по действующей ГЭС средней мощности Баксан I (по довоенным параметрам) приведены для сравнения.

берут начало на покатых северных склонах Скалистого хребта и впадают в основные горные реки в пределах предгорного плато.

На южном склоне Кавказа среднегорные реки берут начало на боковых хребтах и имеют обычно более крутые продольные профили, чем реки Севера. Среднегорные реки различных районов Северного и Западного Кавказа резко отличаются также и по характеру поверхности и растительного покрова своих бассейнов. Наряду с реками, бассейны которых почти не имеют древесной растительности (притоки Малки и частью Баксана, Сулака и др.), имеются реки, питающие части бассейнов которых имеют сплошной густой лесной покров (бассейны Кубани и рек Черноморского побережья).

Сток малых среднегорных рек распределяется в течение года иначе, чем сток рек высокогорных. Периоды паводков здесь всецело зависят от весеннего таяния снегов и от летних дождей, нередко превращающих маловодные реки в бурные потоки колоссальной силы. Особенно значительные паводки вызываются ливнями высокой интенсивности, нередко выпадающими в предгорьях.

Условия регулирования стока малых среднегорных рек Северного и Западного Кавказа почти не изучены, но рекогносцировки, проведенные по ряду таких рек, показывают, что для устройства крупных водохранилищ их долины непригодны. Из рек этого типа на Северном Кавказе лишь на р. Гунделен, притоке Баксана, предполагалось устройство водохранилища с целью частичного регулирования Баксанской ГЭС. Окончательного решения этот вопрос не получил. Некоторые малые среднегорные реки, как например, Тызыл и Урды, составляющие Гунделен, Гижгид, Хасаут и другие, совмещают черты высокогорных (питание за счет таяния высокогорных снегов) и среднегорных (тип долины) малых рек.

Ориентировочная оценка запасов потенциальных ресурсов водной энергии малых среднегорных рек в ряде речных бассейнов Северного и Западного Кавказа показала, что их средняя годовая мощность может быть принята в 5—10% мощности основной горной реки бассейна.

Проведенные исследования позволяют выявить характер распределения мощности по длине типичных малых среднегорных рек и указать участки, наиболее ценные для энергетического использования.

Для одной из групп бассейнов малых среднегорных рек, типичной по природным условиям, можно принять р. Кич-Малку, приток Малки, имеющую в основном широтное (продольное по отношению к Главному хребту) направление долины. Для другой группы бассейнов, вытянутых перпендикулярно к Главному хребту, за типичный бассейн может быть принят бассейн р. Нальчик, приток Череха. Третья группа может быть выделена для рек Черноморского побережья. Типичными реками этой группы являются Псий (приток Шахе) и Мацеста.

Реки Кич-Малка, Нальчик, Псий и Мацеста могут считаться типичными не только по характеру поверхности своих бассейнов, ими представлены также резко различные типы продольных профилей и условий водоносности бассейнов.

Река Кич-Малка, протекающая в продольной долине, вдоль Северного подножья Скалистого хребта, имеет относительно сглаженный продольный профиль русла, с плавно (за исключением небольших участков) уменьшающимися уклонами от истоков к устью (фиг. 16).

Схема изолиний модулей стока [6], вытянутых вдоль Главного хребта, показывает, что в пределах бассейна Кич-Малки нет особо значительных изменений водоносности — весь бассейн ее уместается между изоли-

ниями 7—9,5 л/сек. Наличие обильных родников в средней части и в верховьях бассейна Кич-Малки обеспечивает сравнительную устойчивость расходов воды маловодного сезона.

Иной характер имеет бассейн р. Нальчик (фиг. 16). Располагаясь в долине поперечного простирания, по отношению к Главному и Скалистому хребтам, р. Нальчик имеет весьма беспокойный, далекий от линии равновесия, продольный профиль с частыми чередованиями пологих и крутых участков; модули стока в бассейне Нальчика изменяются в значительных пределах (от 8 до 17 л/сек), причем в верховьях реки они вдвое выше, чем в устьевой части.

Река Псий (приток р. Шахе), расположенная на южном склоне хребта, имеет правильный параболический продольный профиль с весьма большими уклонами в верховьях (до 40%) и малыми в устьевой части. Сплошной лесной покров и высокие модули стока (около 50 л/сек) являются отличительными особенностями ее бассейна.

Река Мацеста, впадающая непосредственно в Черное море, характеризуется быстрым спадом уклонов и уполаживанием продольного профиля. По типу долины и уклонам эта река приближается к основным горным рекам.

При изучении потенциальных гидроэнергетических ресурсов бассейнов малых среднегорных рек, имеющих в основном параболический тип продольного профиля, могут быть с достаточной точностью применены формулы, приведенные выше.

Так как в верховьях малых среднегорных рек расходы воды малы, а в нижней части течения обычно невелики уклоны, для энергетического использования этих рек наиболее благоприятны средние участки течения.

Вследствие отсутствия благоприятных условий для сезонного регулирования, сток малых среднегорных рек Северного и Западного Кавказа может быть использован лишь в его естественном состоянии или, в лучшем случае, с суточным регулированием.

Предгорные степные малые реки имеют незначительный удельный вес среди прочих источников малых водных сил Северного и Западного Кавказа. К их числу могут быть отнесены лишь реки крайнего севера, востока и запада территории Северного Кавказа (районы Малой Кабарды, левобережья среднего и нижнего течения Малки, междуречья Баксан—Малка, Северного Дагестана, Приазовья и т. д.). Несмотря на небольшой удельный вес в водном балансе Северного и Западного Кавказа, сток малых степных рек чрезвычайно важен для дренируемых ими районов, являясь в ряде случаев основным источником водоснабжения степных селений.

Большая часть стока степных малых рек протекает в периоды весеннего снеготаяния, в остальные сезоны года малые степные реки Северного и Западного Кавказа имеют незначительные расходы воды.

Иногда встречающиеся сравнительно большие продольные уклоны долин малых степных рек Северного и Западного Кавказа объясняются общим значительным уклоном равнин Предкавказья к северу.

К рекам рассматриваемого типа могут быть отнесены Золка и Этока (притоки Кумы), Курп и Куян (притоки Терека), Куркужин и Псарыша (притоки Малки), Бейсуг, Кирпили и другие реки степного Приазовья, ряд малых степных рек левобережья Кубани, Северного Дагестана и т. д. Средние годовые модули стока в бассейнах малых степных рек Северного и Западного Кавказа колеблются в пределах от 0,5 л/сек (Приазовье) до 6—10 л/сек (предгорья Северного Кавказа).

Потенциальные гидроэнергетические ресурсы малых степных рек Северного и Западного Кавказа почти не изучены и их оценка возможна лишь весьма приближенно, например, при помощи метода «базисных бассейнов». Для расчетов могут быть применены приведенные выше формулы связи между удельной мощностью и характеристиками продольного профиля.

Продольный профиль степной р. Куркужин (фиг. 16) по своему очертанию сходен с продольными профилями равнинных рек Европейского центра СССР. Степные реки Северного Кавказа иногда отличаются, однако, большей изменчивостью модуля стока в пределах бассейна и большими уклонами. Так, модуль стока в бассейне р. Куркужин, вытянутом в поперечном направлении относительно Главного хребта, изменяется в пределах от 2,5 до 9 л/сек.

Удельные потенциальные средние годовые мощности малых степных рек Северного и Западного Кавказа колеблются в значительных пределах. Так, в бассейне р. Куркужин они составляют около 30 квт/км², тогда как в бассейнах рек Приазовья едва достигают 0,1 квт/км² (табл. 11). Невозможность сезонного регулирования большей части малых степных рек Северного и Западного Кавказа должна приниматься в расчет при учете их потенциальных ресурсов.

Потенциальная мощность малых степных рек не превышает нескольких долей процента мощности основных горных рек Северного Кавказа.

Искусственные каналы имеют исключительно большое значение для сельского хозяйства предгорных и степных районов Северного и Западного Кавказа. Население здесь издавна пользуется ими для подачи воды на территории, недостаточно снабженные естественными водными источниками, но лишь при советской власти на Северном Кавказе были сооружены крупные обводнительные и оросительные каналы с капитальными инженерными сооружениями Мало-Кабардинской оросительной системы (МКОС), Малкинского левобережья (им. Ленина и др.), Баксан—Малка, Алханчуртский, Дигорский, Невинномысский, Сулакский и др. Каналы местного значения имеют примитивные бесплотинные водозаборы. Иногда захваченные из реки воды сбрасываются короткими отводами в естественные русла, не имеющие постоянного стока. В некоторых горных и высокогорных долинах Северного и Западного Кавказа также встречается необходимость в искусственном орошении. Даже в районах влажного Черноморского побережья в некоторые сезоны года нужен искусственный полив.

Долины Дагестана и засушливые долины в зонах Центральной и северной депрессий между Боковым, Скалистым и Главным хребтами особенно нуждаются в орошении. Естественный растительный покров этих долин состоит из горно-ксерофильных засухоустойчивых растений (можжевельник, барбарис, шиповник, ковыль, полынь, чабрец и т. д.). Искусственное орошение склонов дает возможность получать богатый урожай злаков, использовать два и даже три раза в году сенокосные угодья и культивировать прекрасные фруктовые сады (Былымская долина на р. Баксан, Верхне-Черекская долина, районы верхней Кубани, долины Дагестана и др.).

Почти все искусственные каналы Северного Кавказа имеют на своем пути перепады, так как общий уклон местности обычно превышает уклоны, предельно допускаемые по условиям размываемости русла. Эти перепады являются участками, удобными для энергетического использования.

Водный режим искусственных каналов значительно более равномерен, чем режим стока рек. Так, соотношение минимальных и максимальных расходов воды канала Баксан—Малка близко к 1 : 3, а для магистрального головного канала МКОС оно лишь несколько превышает 1 : 2. Это облегчает использование энергии перепадов.

Водозаборные головные сооружения крупных искусственных каналов также могут служить для устройства гидроэлектрических станций, использующих излишки воды, ненужные ирригационным системам.

Примером значения использования перепадов может служить законченная в 1948 г. Свистухинская ГЭС средней мощности на Невинномысском канале, задачей которой является электроснабжение областного центра (г. Ставрополь).

Потенциальные гидроэнергетические ресурсы перепадов и сбросов только нескольких искусственных каналов одной Кабардинской АССР и их головных сооружений (МКОС и Баксан—Малка) составляют свыше 6,5 тыс. квт мощности, гарантированной круглый год, и около 8 тыс. квт 75% обеспеченности. Наиболее значительными круглогодичными потенциальными мощностями обладают: перепад на плотине у станции Котляревская головного сооружения на р. Терек МКОС (около 1 тыс. квт), перепад № 3 канала Баксан—Малка (около 2 тыс. квт) и перепады этого же канала № 1 (около 1,5 тыс. квт) и № 2 (около 400 квт), а также сброс из Акбашского канала в р. Акбаш (около 450 квт), используемый Акбашской ГЭС.

Всего, вместе с указанными, на каналах МКОС и Баксан—Малка имеется около 20 действующих перепадов и сбросов, энергия которых может и должна быть использована, тем более, что эти перепады и сбросы располагаются в районах, не имеющих других, более выгодных для использования, источников водной энергии.

Родники — последний вид малых источников водной энергии — на Северном и Западном Кавказе, по удельному весу потенциальных гидроэнергетических ресурсов, имеют незначительную величину среди прочих водных источников, но по качеству являются первоклассными источниками, так как имеют наиболее постоянный расход воды, при отсутствии наносов. Дебит отдельных источников достигает десятков и даже сотен литров в секунду, при небольших сезонных колебаниях.

К наиболее интересным источникам этого типа принадлежит мощный источник, питающий оз. Цёрик-Кёль (р. Черек) с суточным дебитом около 70 млн. л; временами расход источника достигает 1 м³/сек.¹ Оз. Цёрик-Кёль имеет весьма большую глубину (по данным И. Г. Кузнецова, 258 м, а по промерам С. В. Клопова, около 300 м), при небольших размерах (максимальная длина 238 м). На правом склоне долины Череха, вблизи оз. Цёрик-Кёль, имеется еще несколько озер аналогичного (карстового) происхождения, причем одно из них лежит на дне глубокого (более 100 м) цилиндрического провала с отвесными стенками. Барометрическая нивелировка установила, что горизонты воды всех озер имеют близкие между собою отметки, указывающие на подземную связь между ними.

Ручей, вытекающий из оз. Цёрик-Кёль, на участке до впадения в р. Черек, обладает потенциальной мощностью около 250 квт, которая может быть использована деривационной ГЭС с каналом длиной 450 м

¹ К известным источникам принадлежат также родники левобережья р. Терек в районе устья р. Ардон, потенциальная мощность которых достигает многих сотен киловатт. Часть этой мощности используется Баканской сельской гидроэлектростанцией.

и с простейшим водозаборным сооружением. Полное отсутствие наносов и постоянный в течение года расход воды делает эту ГЭС первоклассной установкой. С учетом потерь здесь может быть получена мощность 160—200 квт. Следует, однако, иметь в виду при проектировании гидроэлектростанций на родниковых источниках возможную агрессивность их вод и вредное действие на применяемые строительные материалы. В связи с этим необходимо проведение анализов воды.

Основные горные реки Северного и Западного Кавказа также почти на всем своем протяжении могут служить источниками питания малых гидросиловых установок.

Условия питания определяют особенности режима стока этих рек, обычно имеющих минимальные расходы воды в зимний сезон, а паводки в летний. В пределах обжитых участков долин расходы воды основных горных рек даже в периоды маловодья достаточны для привода в действие малых гидросиловых установок.

При выходе из долин основные горные реки в периоды летних паводков размывают берега и, нередко используя естественные понижения местности, находят себе новые русла. Иногда протоки и староречья используются местными жителями для постоянного обводнения селений, путем проведения несложных регулировочных работ. Густая сеть протоков и староречий имеет, например, место в устьевой зоне Баксана (Баксан, Баксаненок, Гедуко), Чегема (Чегем I, Чегем II), Череха (Урвань, Кахун, Черек, Старый Черек), Лескена, Аргудана, Уруха. При оценке основных горных рек как источников энергии для сооружения малых ГЭС, следует принимать за предел мощность круглогодовой обеспеченности.

Часть III

УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ РЕК СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Глава I

ПУТИ РАЗВИТИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ В РАЙОНАХ СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Основную часть энергии (более 70%) в электроэнергетических узлах Северного и Западного Кавказа в настоящее время генерируют тепловые электростанции.

Хотя при проектировках дальнейшего развития энергетической базы районов Северного и Западного Кавказа намечено значительное снижение роли тепловой энергии, все же предполагается, что последняя в 1960 г. будет составлять около половины всей энергии, вырабатываемой электростанциями Северного и Западного Кавказа (без Западно-Грузинских электростанций). Современное и перспективное соотношение тепловой и гидравлической энергии в энергетических районах Северного и Западного Кавказа, на базе данных Теплоэлектропроекта, приведены в табл. 14.

Таблица 14

Планируемое соотношение тепловой и гидравлической энергии в энергетических районах Северного и Западного Кавказа

Энергетический район	1950 г.			1955 г.			1960 г.		
	мощность (в %)	доля тепловой		мощность (в %)	доля тепловой		мощность (в %)	доля тепловой	
		мощности (в %)	энергии (в %)		мощности (в %)	энергии (в %)		мощности (в %)	энергии (в %)
Краснодарский	34	72	77	38	68	73	35	53	59
Ставропольский	2	—	—	6	—	—	5	—	—
Баксанский	12	18	22	5	18	22	3	18	22
Грозненский	48	75	79	39	68	74	50	43	50
Дагестанский	4	62	70	12	32	36	7	32	36
Всего	100	—	—	100	—	—	100	—	—
Среднее	—	65	71	—	58	64	—	43	50

Примечание. При определении доли тепловой энергии принято среднее число часов годового использования установленной мощности для гидроэлектростанций — 5000 час., для тепловых электростанций — 6500 час.

В ближайшем десятилетии в Краснодарском энергетическом районе одновременно с ростом мощности гидроэлектростанций намечено утроение, а в Грозненском — удвоение мощности тепловых электростанций. Всего за этот период на Северном Кавказе намечен ввод новых ТЭС на суммарную мощность более 200 тыс. квт.

Следует отметить, что и в прошедшие годы при проектировках развития электроэнергетики на Северном и Западном Кавказе в ряде случаев отдавалось предпочтение тепловым электростанциям, вследствие, якобы, неэкономичности использования водной энергии местных рек. Так, для электрификации участка ж. д. Сухуми—Туапсе—Армавир, Гид-

роэнергoproject, при изучении вопроса об энергоснабжении Черноморской ж. д., предлагал в 1937 г. расширение Ткварчельской и Краснодарской ТЭС, несмотря на чрезвычайное обилие водной энергии в этом районе (насыщенность ею территории достигает 500 квт/км^2). В 1939 г. в центральной части Северного Кавказа было прекращено начатое уже строительство Нузальской ГЭС на р. Ардон, предназначавшейся для энергоснабжения Садонского горнопромышленного района, и вместо нее была осуществлена подача энергии за 200 км, от дизельных станций г. Грозного. В 1946 г. Теплоэлектропроект обосновывал целесообразность передачи электроэнергии в Баксано-Минераловодский узел от тех же Грозненских ТЭС на расстоянии 250—300 км вследствие, якобы, невозможности развития гидроэнергетического использования местных рек, хотя насыщенность территории гидроэнергией в бассейне р. Баксан превышает 200 квт/км^2 . В течение последнего десятилетия построено и запроектировано в разных районах Северного и Западного Кавказа несколько новых тепловых электростанций.

Таким образом, при наличии богатейших возобновляемых потенциальных ресурсов водной энергии, которую Западный и Северный Кавказ мог бы экспортировать в смежные районы страны, развитие энергетической базы в значительной степени ориентировалось и намечено ориентировать здесь на жидкое топливо и на каменный уголь, доставляемые за многие сотни километров.

Основными причинами малого развития гидроэнергетики на Северном и Западном Кавказе являются слабая естественная зарегулированность стока рек и вызываемая местными природными условиями трудность их регулирования, чрезмерная длительность сроков (нередко значительно более 10 лет) строительства ГЭС даже сравнительно небольших мощностей, как например, Гергебильской и Сухумской, наличие нефтяных месторождений и сравнительная близость Донбасса, а также недостаточная изученность особенностей гидроэнергетических ресурсов этого интереснейшего по запасам водной энергии района и возможных, иногда своеобразных, путей ее использования. Огромная планомерная работа, проведенная в 1927—1935 гг. по первоначальному изучению гидроэнергетических ресурсов Северного и Западного Кавказа и выявлению возможных схем их использования местными краевыми организациями и отделением Гидроэлектропроекта (Северо-Кавказским, затем Ростовским), не получила необходимого завершения вследствие ликвидации этого отделения.

Гидроэнергетические ресурсы Северного и Западного Кавказа, как показано выше, отличаются значительным разнообразием.

Правильное сочетание гидроэлектрических станций на реках с различным режимом при параллельной работе могло бы частично решить проблему сезонного регулирования энергии.

Западный и Северный Кавказ богаты высокогорными озерами. Некоторые из этих озер (каровые) при сравнительно небольшой емкости, имеют чрезвычайно выгодное для энергетического использования расположение. Чаши этих озер позволяют зарегулировать высокогорный сток и использовать его затем под сверхвысокими напорами гидроэлектрическими установками средней мощности регулирующего типа, при относительно небольших длинах деривации.

При общих неблагоприятных условиях сезонного регулирования стока рек Северного и Западного Кавказа, топографические особенности долин некоторых его рек допускают устройство водохранилищ с полезными емкостями, значительно превышающими емкости, необходимые

для годичного регулирования стока этих рек, например: р. Белой у с. Хамышки, р. Б. Лабы в районе Загедан, р. Б. Зеленчук в урочище Архыз, р. Кубани у с. Беломечетская, в урочище Аманхит и у рудника Эльбрус, р. Малки в урочище Лахран, р. Ардон у с. Заромаг, р. Терек в районе Эльхотово — Дарг-Кох и некоторых других рек: Ассы, Аргуна, Аварского и Андийского-Койсу. Инженерно-геологические условия большей части указанных участков не изучены, но по ряду из них имеется благоприятный прогноз.

Возможность совместного использования энергии рек с энергией ветра открывает совершенно новые, еще неучтенные перспективы развития гидроэнергетики на Западном Кавказе.

Рациональное сочетание энергетического использования стока незарегулированных рек разного режима, регулирующих емкостей чаш горных озер и долинных водохранилищ, а также использование энергии ветра даст возможность создать на Северном и Западном Кавказе мощную гидроэнергетическую базу.

Развитие гидроэнергетики на Северном и Западном Кавказе представляет особую важность в связи с указаниями о необходимости максимальной экономии жидкого топлива и ограничения его расходования на нужды стационарной энергетики, что заставляет в корне пересмотреть не только прежние предложения о строительстве здесь новых тепловых электростанций, но и порядок снабжения топливом уже существующих ТЭС. В частности, в связи с этим возник вопрос об изучении возможности и условий передачи энергии гидростанций на реках бассейна Сулака в район Баку.

Не менее важно также при изучении проблемы развития гидроэнергетики Северного и Западного Кавказа исследовать возможности и условия осуществления высоковольтных дальних связей ГЭС на реках Северного и Западного Кавказа с Закавказскими, Южно-Украинской и Нижне-Волжской электроэнергетическими системами и взаимные выгоды таких объединений.¹

Исследования гидроэнергетических ресурсов Северного и Западного Кавказа и возможных путей их использования приводят к заключению, что любой уровень электропотребления ближайших десятилетий в районах Северного и Западного Кавказа может быть полностью покрыт за счет использования возобновляемых энергетических ресурсов. Для этого должна быть принята следующая схема развития гидроэнергетики, основанная не только на обычном увеличении количества и мощности ГЭС, но и на коренном изменении характера и качества их работы, по мере роста электропотребления и ввода новых установок, дающая возможность обеспечить покрытие:

1. Низкого уровня электронагрузок (десятки, сотни, тысячи киловатт) изолированными ГЭС высокой обеспеченности, а в некоторых случаях, в зависимости от характера нагрузок, при помощи ГЭС нормальной и даже низкой обеспеченности.²

2. Среднего уровня электронагрузок (десятки тысяч киловатт) объединением этих ГЭС в местные электросистемы и строительством местных регулирующих электростанций одного из следующих типов:

а) без водохранилищ или с сезонными водохранилищами сравнительно небольшого объема, на реках с иным режимом стока, чем река,

¹ Этому вопросу посвящены специальные исследования, проводимые в Энергетическом институте им. Г. М. Кржижановского АН СССР по теме «Научные основы развития и объединения электроэнергетических систем СССР» при нашем участии.

² Нормальная обеспеченность предполагает 5—6 тыс. часов годового использования установленной мощности.

используемая ГЭС высокой, нормальной, или низкой обеспеченности — регулирующие ГЭС с высокой обеспеченностью установленной мощности или с нормальной и низкой обеспеченностью;

б) с водохранилищами в чашах высокогорных озер (озерная ГЭС), иногда с насосной подкачкой;

в) ветроэлектрических (ВЭС) и ветро-гидроаккумулирующих (ВАЭС).

В районах Черноморского побережья в дальнейшем могут иметь распространение особые установки, сочетаемые с берего-укрепительными сооружениями, допускающие использование энергии волн морского прибоя и работающие главным образом на аккумулярование энергии.

При параллельной работе установок перечисленных типов, как будет показано далее, изменяется качество работы объединяемых установок и возникает возможность повышения установленной мощности регулирующих ГЭС.

3. Высокого уровня электронагрузок (сотни тысяч киловатт) — устройством, на базе особо крупных регулирующих водохранилищ, гидроэлектрических районных регуляторов большой мощности (ГЭРР), работающих на перерегулированном стоке и позволяющих дальнейшее повышение установленной мощности незарегулированных ГЭС, а также строительство новых ГЭС на бытовом стоке рек, для работы в системе с ГЭРР.

Регулирующие ГЭС высокой, нормальной и низкой обеспеченности и ГЭРР, вместе с тем, должны явиться базой для межрайонного объединения электроэнергетических систем смежных районов.

Проведенные исследования устанавливают следующие основные особенности и ориентировочные параметры отдельных типов ГЭС предлагаемой принципиальной схемы развития гидроэнергетики изучаемых территорий.

Взаимно дополняющие друг друга незарегулированные, или частично зарегулированные установки низкой, нормальной, или высокой обеспеченности, использующие сток рек различного гидрологического режима, могут иметь самые разнообразные схемы, в зависимости от типа используемого перепада. Эти установки должны использовать наиболее эффективные участки горных рек, устьевые ступени высокогорных рек, перепады на каналах и т. д. В ряде районов Северного и Западного Кавказа ГЭС небольшой мощности на незарегулированном стоке должны иметь решающее значение для развития электроэнергетической базы городского и сельского хозяйства, местной промышленности, санаторно-курортного строительства и т. д. Пределы развития электросистем за счет строительства ГЭС этих типов определяются удельными мощностями используемых ими рек на 1 пог. км деривации.

Реки Северного и Западного Кавказа лишь на редких участках способны дать обеспеченную круглый год мощность более 1—2 тыс. квт на 1 пог. км деривации. Исключения представляют некоторые горные участки рек Ингури, Кодори, Бзыби, Кубани, Терека и Сулака с более высокими обеспеченными удельными мощностями. Деривация в горных долинах Северного и Западного Кавказа обычно возможна лишь при помощи тоннелей, проведение которых при небольших удельных мощностях невыгодно. При нормальной длине деривации 5—6 км гарантированная мощность отдельных ГЭС редко превысит 5—10 тыс. квт, что затрудняет развитие электроэнергетических систем только на базе таких гидростанций выше некоторого предела, определяемого

нами в несколько десятков тысяч киловатт. Ограничение развития ГЭС высокой обеспеченности желательно также с точки зрения полезного использования энергии речного стока; при круглогодовой обеспеченности мощности ГЭС на незарегулированном ледниковом стоке, годовой сток реки используется лишь на 15—20%.

К незарегулированным ГЭС нормальной и низкой обеспеченности принадлежат действующие и строящиеся на Северном и Западном Кавказе Гергебильская, Гизельдонская, Баксанская, Дзауджикауская, Майкопская, Краснополянская и Сухумская ГЭС.

Озерные ГЭС основаны на использовании малых объемов стока, зарегулированного или перерегулированного в чашах высокогорных (обычно каровых) озер, под сверхвысокими напорами. Типичная схема озерной ГЭС сезонного регулирования¹ должна включать:

- 1) невысокую (до 25—35 м) каменнонабросную плотину сравнительно небольшого объема для восстановления разрушенной эрозией льда и воды стенки каровой котловины (отделяющей котловину от смежной долины), обычно сложенной прочными горными породами;
- 2) водосборную систему для увеличения используемого стока;
- 3) насосные установки (или гидротараны) для подкачки собранного стока в озерную чашу;
- 4) короткий напорный деривационный тоннель;
- 5) высоконапорный трубопровод небольшого сечения.

Характерные параметры озерных ГЭС в условиях Северного и Западного Кавказа:

средний годовой используемый расход воды не более 1—2 м³/сек; полезный объем озерного водохранилища до 10—20 млн. м³;

напор брутто 1000—2000 м;

установленная мощность ГЭС—до нескольких десятков тысяч киловатт;

регулирующая отдача — до 200—300 млн. квтч в год.

ГЭРР основаны на предельном использовании объемов крупных водохранилищ, допускающих перерегулирование стока и создание каскадов гидроэлектрических станций, работающих по регулирующему графику для установок нормальной и низкой обеспеченности на незарегулированных реках.²

В условиях Северного и Западного Кавказа для устройства ГЭРР обычно необходимо сооружение плотин высотой до 100 м, а иногда и более.

ВЭС, ВАЭС и ветро-механические установки в условиях Северного и Западного Кавказа возможны следующих типов и назначений:

- 1) установки небольших мощностей для электрификации, главным образом сельского хозяйства. Такие установки могут быть сооружены как в степных районах предгорий (Приазовье, Ставропольская возвышенность, левобережье Терека, Северный Дагестан), так и в горных районах. В некоторых горных долинах могут найти широкое применение ВЭС и ВАЭС для использования энергии горно-долинных ветров в сочетании с ГЭС на малых горных реках. Режим горно-долинных ветров на Северном и Западном Кавказе почти не изучен, но наблюдения показывают, что постоянство и скорости этих ветров наиболее велики в безлесных горных долинах поперечного, по отношению к Главному хребту, простираения (долины Терека, Баксана, Верхней

¹ Подробно рассматриваемая в настоящей работе в ч. III гл. 3.

² ГЭРР, посвящена гл. 4, ч. III.

Кубани, притоков Сулака и др.). При сооружении малых ветро-установок в степной полосе, в качестве основной схемы использования энергии ветра должна быть принята схема с подкачкой воды за счет механической энергии ветра из нижних в верхние бьефы каскадов ГЭС на степных водотоках, что позволит многократное использование этими ГЭС одних и тех же объемов воды.¹ В горных районах резервуарами для гидроаккумулирования могут служить чаши горных озер.

2) ВЭС и ВАЭС значительных мощностей для совместной работы с крупными ГЭС. Схема предполагает использование особых условий ветрового режима некоторых районов Северного и Западного Кавказа (западная оконечность Главного Кавказского хребта, побережье Каспия и др.), в которых наблюдаются ветры исключительные по постоянству и силе при благоприятном сочетании их сезонного графика с сезонным графиком энергии рек. Этот вид совместного использования энергии горных рек и ветра — дело более далекого будущего.

Глава 2

СОЧЕТАНИЕ ЭНЕРГИИ РЕК РАЗЛИЧНОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Электрическое объединение ГЭС на реках различного гидрологического режима может в условиях Северного и Западного Кавказа в некоторых случаях обеспечить существенное взаимное сезонное регулирование их отдачи.

Исследование установленных Б. Д. Зайковым типовых графиков стока незарегулированных рек Северного и Западного Кавказа (фиг. 2) показывает, что даже сочетание энергии однотипных рек, например с половодьем в теплую часть года (группы 1, 2 и 5), может улучшить режим совместной работы ГЭС, так как, благодаря влиянию вертикальной климатической зональности, периоды максимума и минимума мощности одних из этих рек нередко сдвинуты на два-три месяца относительно других рек. Более выгодны сочетания энергии рек с половодьем в теплую часть года групп 1, 2, 3, 4, 5 с энергией рек с весенним половодьем групп 6, 7, а если рассматривать весь Кавказ, то и групп 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15. Сочетания энергии рек групп 1, 2, 3, 4, 5 и рек с паводочным режимом групп 17, 19, 20, для условий Северного и Западного Кавказа, наиболее выгодны.

Пример одного из возможных в условиях Западного Кавказа сочетаний энергии рек групп 2 и 19 (табл. 15) показывает, что электрическое объединение ГЭС на реке с половодьем в теплую часть года и ГЭС на реке с паводочным режимом при равных сочетаемых мощностях позволяет весьма значительно повысить их установленные мощности, сравнительно с раздельным использованием энергии этих же рек. В данном случае, при условии равенства средних годовых расходов воды используемых рек, наивыгоднейшая обеспеченность такой системы лежит в пределах 75—100% (табл. 15). Суммарная обеспеченная мощность объединенных ГЭС значительно увеличивается при этом по сравнению с суммарной обеспеченной мощностью, используемой раздельно.

¹ Принципиальная схема этого типа, разработанная проф. Н. В. Красовским для аналогичных условий Европейского центра СССР, показала возможность многократного увеличения годовой отдачи ГЭС при почти неизменных удельных капиталовложениях.

Таблица 15

Обеспеченность мощности рек Северного и Западного Кавказа различных гидрологических типов в процентах от средней годовой, при раздельном и совместном использовании 1 м напора

Обеспеченность		Мощность (в квт)				Коэффициент объединения $K = \frac{N_{2+19}}{N_2 + N_{19}}$
		река типа 2 (с половодьем в теплый период года) N_2	река типа 19 (с паводочным режимом) N_{19}	суммарная		
(в %)	(в месяцах)			раздельная работа $N_2 + N_{19}$	совместная работа N_{2+19}	
8,4	1	>200	>200	>200	>200	—
16,7	2	>200	>200	>200	>200	—
25,0	3	125	125	>200	>200	—
33,5	4	116	117	>200	>200	—
41,0	5	100	115	>200	>200	—
50,0	6	65	102	167	184	1,10
58,0	7	59	98	157	173	1,11
67,0	8	58	58	116	137	1,18
75,0	9	37	40	77	123	1,60
82,0	10	24	31	55	118	2,14
92,0	11	18	23	41	117	2,85
100,0	12	15	20	35	55	1,75

Если N_2 и N_{19} — обеспеченные мощности ГЭС на стоке рек групп 2 и 19, работающих раздельно (без электрической связи), а N_{2+19} — обеспеченная мощность тех же ГЭС при объединенной их работе, эффективность объединения этих ГЭС можно выразить коэффициентом объединения:

$$K_{об} = \frac{N_{2+19}}{N_2 + N_{19}}$$

В данном случае максимальное значение $K_{об} = 2,85$ имеет место при 92% обеспеченности. Круглогодовая обеспеченность данного объединения ГЭС может быть достигнута при сравнительно небольшом сезонном регулировании. Следует отметить, что в этом примере для реки типа 19 нами выбран год с малыми расходами воды в феврале, часто же реки этого типа обладают большими расходами воды в феврале, который является в то же время наиболее маловодным месяцем для большинства рек других типов. Таким образом, рассмотренное сочетание часто может явиться значительно более выгодным, чем в приведенном примере. Максимальное значение коэффициента объединения энергии указанных рек, при большом февральском стоке реки типа 19, $K_{об} = 3,35$, имеет место при круглогодовой (97%) обеспеченности.

Из рек Северного и Западного Кавказа, режим которых значительно отличается от режима рек преобладающего высокогорного питания, несущих основную мощность, могут быть отмечены реки Пшеха, Пшиш, Псекупс, Вулан, Пшада, Шапсухо, Нечепсухо, Туапсе, Псезуапсе, Сочи, Хоста и ряд других рек Черноморского побережья. Эти реки, сравнительно небольшие по стоку, использованию которых до последнего времени не придавалось никакого значения, имеют особую энергетическую ценность, так как сооружение на них ГЭС может частично заменить создание водохранилищ. Промежуточное положение между реками обоих названных типов (т. е. рек с половодьем в теплую часть года и с паво-

дочным режимом) занимают реки Белая, Шахе, Мзымта, Бзыби и некоторые другие реки Черноморского побережья Западного Кавказа, сочетающие в своих бассейнах высокогорное питание с дождевым, снеговым и грунтовым. Приводимый далее пример использования стока рек Пшеха, Пшиш и Туапсе для устройства каскада ГЭС, регулирующего Краснодарскую электроэнергетическую систему, иллюстрирует значение сочетания энергии рек разного режима в условиях Западного Кавказа.

Окончание строительства ряда ГЭС средней мощности на реках Западного Кавказа (Краснополянская, Майкопская, Свистухинская, а в дальнейшем — Белореченская) значительно улучшит электроснабжение районов Западного Кавказа. Все эти ГЭС, однако, в лучшем случае обладают лишь суточным регулированием, отличаются значительной сезонной неравномерностью мощности и при изолированной работе не могут обеспечить надежное энергоснабжение приключенных к ним потребителей. Соотношение обеспеченной среднесуточной и установленной мощностей перечисленных ГЭС составляет около 1:4,5, причем все установки отличаются длительным осенне-зимним минимумом, так как используют реки с преобладанием высокогорного питания.

Таким образом, надежное электроснабжение потребителей может быть здесь обеспечено лишь при условии совместной работы этих ГЭС с регулирующими установками, мощность которых должна достигать 75—80% мощности регулируемых ГЭС.

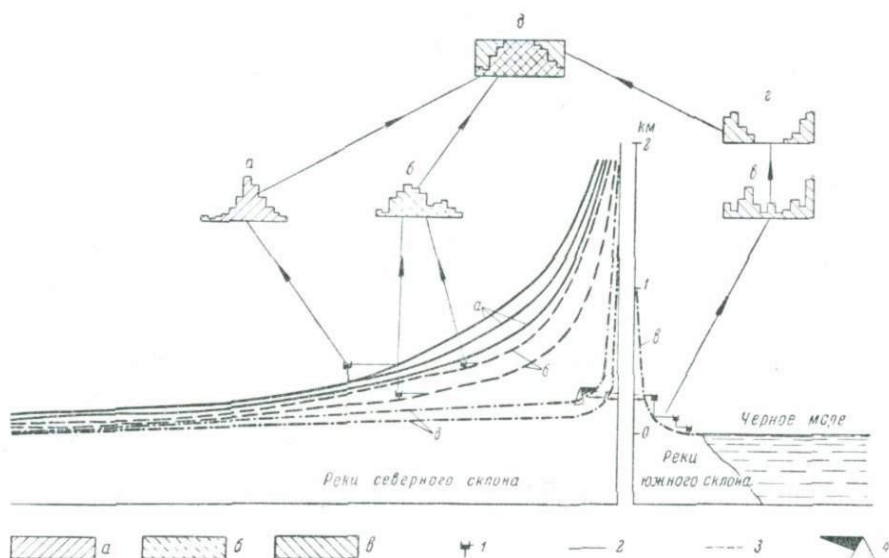
Разработанные в 1949 г. Гидроэнергопроектом технико-экономические доклады: «ТЭД об энергоснабжении Краснодарского края» и «ТЭД об использовании р. Мзымты» указывают на неизбежность сооружения в Краснодарском крае новых тепловых электростанций, мощность которых, по данным этих докладов, к 1960 г. должна возрасти до 150 тыс. квт. Путей создания надежной зарегулированной Краснодарской электроэнергетической системы без развития тепловых электростанций авторы указанных докладов не находят. Между тем, как установлено нашими исследованиями 1945—1947 гг., особенности водного режима некоторых рек Северо-Западного Кавказа позволяют создать зарегулированную электроэнергетическую систему в Краснодарском крае без дальнейшего строительства ТЭС.

Рекогносцировочные исследования, проведенные нами по рекам западной части бассейна Кубани (Пшиш, Пшеха, Псекупс) и по рекам Черноморского побережья (Туапсе, Аше и Псезуапсе), показали, что на этих реках могут быть сооружены эффективные регулирующие установки для гидростанций с зимним минимумом мощности [11, 13, 15].

В качестве примера рассмотрим возможность устройства регулирующих ГЭС нормальной обеспеченности для сооружаемых и проектируемых установок на реках Краснодарского края — Мзымте и Белой.

Мзымтинские ГЭС удалены от белореченских на 230—250 км, считая по наиболее доступному направлению вдоль шоссе Красная Поляна — Сочи и ж. д. Сочи — Туапсе — Белореченская (фиг. 1). Высоковольтная связь между ГЭС на р. Мзымте и ГЭС на р. Белой на ближайшем этапе необходима для электрификации ж. д. линии Сочи — Армавир, а в дальнейшем — как одно из звеньев межрайонного объединения Кавказских электроэнергетических систем. Для повышения надежности электроснабжения было бы весьма важно иметь между ГЭС на р. Мзымте и ГЭС на р. Белой промежуточную генерирующую установку регулирующего типа. Такая установка может быть предложена на объединенном стоке рек Пшеха, Пшиш, Туапсе (фиг. 18). Река Пшиш — левый приток Кубани — берет начало на северных склонах

Главного Кавказского хребта, имеющего в этой части уже сравнительно небольшие высоты — отметки его вершин не превышают 1000—1500 м. Отсутствие высокогорного питания и обилие осадков во все времена года (особенно весной и зимой) определяют паводковый характер режима реки. Уклоны р. Пшиш невелики. Это привело, при разработке технико-экономического доклада по использованию р. Пшиш



Фиг. 18. Схема сезонного регулирования путем электрического объединения ГЭС на реках разного питания (Западный Кавказ):

a — энергия рек высокогорного питания; *б* — энергия рек смешанного питания; *в* — энергия рек атмосферного питания; *г* — регулирующая энергия рек атмосферного питания; *д* — энергия объединенных ГЭС на реках разного питания; 1 — ГЭС; 2 — канал; 3 — тоннель; 4 — водохранилище.

(Мосгидэп, 1945 г.), к утверждению, что его сток может быть использован лишь приплотинными установками. Три приплотинные ГЭС, запроектированные в среднем течении р. Пшиш, обладали бы суммарной мощностью лишь 8 тыс. квт при обеспеченной мощности 1 тыс. квт и годовой отдаче 40 млн. квтч.

Для этого потребуется постройка двух плотин высотой по 15 м и одной плотины высотой 25 м. Капиталовложения по установкам составляют около 18 тыс. руб. на 1 квт установленной мощности и около 4 руб. на 1 квтч отдачи (цены 1949 г.). Принципиальная ошибочность такой схемы состоит в ориентировке на приплотинные ГЭС, неэкономичные в условиях р. Пшиш (малые расходы воды, недостаточно развитая долина в среднем течении реки, трудность увязки с ж.-д. линией), и в игнорировании важнейшей характерной особенности реки — внутригодового распределения ее стока, делающего выгодным совместное использование ее энергии с энергией рек высокогорного питания и невыгодным изолированное использование.

Следовало бы пересмотреть схему использования энергии р. Пшиш, изучив возможность устройства регулирующих водохранилищ в верхней части течения реки и плотинно-деривационных ГЭС в среднем течении. Однако надо иметь в виду, что вследствие сравнительно малых уклонов реки и необходимости тоннельной деривации в этом случае особо вы-

годных и крупных ГЭС создать на р. Пшиш невозможно. Несравнимо больший эффект можно получить при сбросе стока р. Пшиш в бассейн р. Туапсе. Верховья р. Пшиш заключены в параллельной Главному хребту (продольной) долине с небольшими уклонами и с высокими модулями стока (до 50 л/сек). В этой долине следует устроить небольшое водохранилище с регулирующей емкостью в 5—8% от используемого годового стока реки, достаточной для существенного регулирования в условиях ее паводочного режима.

Схема переброски стока р. Пшиш в бассейн р. Туапсе должна включать плотину высотой 20—30 м, тоннель длиной 8—9 км и стационарный узел в районе с. Анастасьевка, на р. Пшенахо (бассейн р. Туапсе). При этом может быть сосредоточен напор нетто около 160 м. Ниже здания Туапсинской ГЭС № 1 воды Пшиша, вместе с водами бассейна р. Туапсе, могут быть использованы еще в нескольких ступенях. ГЭС № 2 должна использовать участок от здания ГЭС № 1 до слияния рек Пшенахо и Пшияха с падением около 70 м, безнапорным тоннелем длиной около 3,5 км. На участке реки от здания ГЭС № 2 до г. Туапсе могут быть намечены три установки с плотинами тирольского типа и со смешанной безнапорной деривацией суммарной длиной около 10 км, использующие напор около 50 м. Здание ГЭС № 3 следует расположить на левом берегу р. Туапсе у устья р. Ципа, здание ГЭС № 4 — в устье глубокого ущелья левобережного притока р. Туапсе, а здание ГЭС № 5 — в предместье г. Туапсе. Таким образом, напор регулирующего каскада Пшиш-Туапсинских ГЭС из пяти установок может превысить 300 м.

Идея Пшиш-Туапсинских регулирующих ГЭС впервые была выдвинута нами в 1948 г., а затем схематично рассмотрена в предварительном научно-техническом отчете [15]. По получении хорошей энергоэкономической характеристики установок и выявлении их большого значения для развития Краснодарской электроэнергетической системы, схема была предложена для дальнейшего проектного изучения Главгидроэнергострою Министерства электростанций СССР.

При изучении проблемы сезонного регулирования энергии ГЭС на реках Западного Кавказа с высокогорным питанием нами ранее неоднократно указывалась возможность использования для устройства регулирующих ГЭС стока р. Пшехи [11, 13, 15]. Эти указания были учтены при разработке «Обзорной записки по каскаду Туапсинских ГЭС» [29], составленной Московским отделением Гидроэнергопроекта в развитие предложенной нами идеи. Схематическое проектирование на базе полевой рекогносцировки подтвердило возможность сооружения весьма эффективного регулирующего для Краснодарской электроэнергетической системы каскада Пшеха-Пшиш-Туапсинских ГЭС мощностью около 110 тыс. квт с отдачей около 475 млн. квтч. Регулирующая способность каскада основана на сочетании энергии рек разного режима: Пшиш, Пшеха и Пшенахо — с одной стороны и Мзымта и Белая — с другой. Энергоэкономическая эффективность Туапсинских ГЭС характеризуется полученными Мосгидэпом показателями себестоимости 1 квтч регулирующей отдачи 7 коп. и удельными капиталовложениями на 1 квт установленной мощности 8,5 тыс. руб. и на 1 квтч годовой отдачи 2 руб. Туапсинские ГЭС являются более эффективными, чем возможные в данном районе тепловые электростанции, затраты по сооружению ГЭС окупаются в 13,5 лет. Они дают возможность развить и зарегулировать Краснодарскую электроэнергетическую систему с отдачей до 1,5 млрд. квтч.

Схема Пшеха-Пшиш-Туапсинских ГЭС, в рассмотренном Мосгидэп виде, включает Верхне-Пшехское регулирующее водохранилище на р. Пшеха, с контрфорсной плотиной высотой 77 м в ущелье верхних Волчьих ворот; ГЭС располагается при плотине. Ниже ГЭС имеется контррегулирующий бассейн, от которого начинается безнапорный тоннель длиной 16 км, перебрасывающий воды Пшехи в р. Пшиш. На р. Пшиш намечена промежуточная (Пшишская) установка с земляной плотиной высотой 20 м и деривационным каналом 1,25 км, вода из которой поступает в водохранилище Туапсинской ГЭС I, образованное земляной плотиной высотой 20 м. Напорный тоннель длиной 8,5 км пересекает водораздел Пшиш—Туапсе и подает воду в долину р. Пшенахо, где располагается машинное здание Туапсинской ГЭС I. Далее безнапорный тоннель длиной 3,4 км, проведенный в массиве левого склона р. Пшенахо, подводит воду к зданию Туапсинской ГЭС II. Основные показатели намеченных ГЭС приведены в табл. 16.

Таблица 16

Технико-экономические показатели проектируемых ГЭС Туапсинского каскада
(по схеме, разработанной Гидроэнергопроектом, в ценах 1949 г.)

Наименование ГЭС каскада	Объем приведенного бетона в тыс. м ³	Установленная мощность (в тыс. квт)	Отдача в средний год (в млн. квтч)	Капиталовложения			Себестоимость квтч (в коп.)
				всего (в млн. руб.)	на 1 квт (в тыс. руб.)	на 1 квтч (в руб.)	
Верхне-Пшехская . .	165	30	79,7	149	4,98	1,88	7,05
Пшишская	151	11	46,4	106	9,68	2,30	8,70
Туапсинская I . . .	852	50	248,8	510	10,20	2,05	6,95
Туапсинская II . . .	284	21	102,5	183	8,74	1,79	6,40
Всего по каскаду	1452	112	477,4	948	—	—	—
Среднее	—	—	—	—	8,48	1,99	7,00

Сооружение установок каскада может производиться очередями по мере развития системы и роста потребности в регулирующей энергии. Наиболее сложными сооружениями по схеме явятся: плотина на р. Пшеха высотой 77 м, безнапорный тоннель Пшеха—Пшиш длиной 16 км и напорный тоннель Пшиш—Пшенахо длиной 8,5 км. Для дальнейшего уточнения и развития схемы Туапсинских ГЭС необходимо выполнение проектно-изыскательских работ, во время которых следует изучить возможность привлечения также стока бассейна р. Туапсе и условия устройства каскада ГЭС на р. Туапсе, ниже слияния рек Пшенахо и Чилипси. Использование нижних ступеней каскада туапсинских ГЭС, работающих частично на уже зарегулированном стоке, должно улучшить энергоэкономические показатели схемы.

Регулирующие установки меньшей мощности и эффективности для рассматриваемого района могут быть сооружены также на стоке некоторых рек южного склона с паводочным режимом. Их энергоэкономические показатели, однако, вследствие небольших уклонов рек, как правило, менее благоприятны, чем для рассмотренных Туапсинских ГЭС.

В табл. 17 приведены ориентировочные параметры и технико-экономические показатели ряда возможных ГЭС на реках Аше и Псезуапсе, энергетические исследования которых были проведены нами впервые. Наибольшего внимания заслуживает Татьянаовская ГЭС на р. Псезуапсе, обладающая водохранилищем; ее установленная мощность при условии работы в системе может быть увеличена до 6—8 тыс. квт,

Таблица 17

Ориентировочные параметры некоторых ГЭС на реках Аше и Псеуапсе
(в ценах 1949 г.)

Наименование ГЭС	Река	Расстояние от устья (в км)	Напор (в м)	Мощность (в тыс. квт)	Отдача в средний год (в млн. квтч)	Капиталовложения			Собственность квтч (в коп.)	Тип, высота плотины (в м)	Тип, длина деривации (в км)
						всего (в млн. руб.)	на 1 квт (в тыс. руб.)	на 1 квтч (в руб.)			
Татьяновская	Псеуапсе	10	45	3,5	25,0	45,0	12,8	1,8	14,5	Каменно-набросная	Тоннель
										20	2,0
Красно-Александровская	Аше	10	25	1,5	11,5	15,0	10,0	1,3	10,7	С донным водозабором	Дерев. труба
											3,3
Бекишайская	"	15	45	1,0	7,0	13,0	13,0	1,9	15,0	То же	Дерев. труба
											6,6

а при повышении подпора может превысить 10 тыс. квт. Установки на небольших реках Черноморского побережья, несмотря на сравнительно высокую стоимость их энергии, могут оказаться выгодными и при изолированном использовании, так как заменят малые тепловые электростанции, стоимость энергии которых нередко достигает здесь нескольких рублей за 1 квтч. Эти ГЭС при работе в системе с Краснополянской ГЭС на р. Мзымте окажут регулирующее влияние.

Таким образом, пример некоторых установок на реках Краснодарского края показывает возможность существенного регулирования ГЭС на стоке рек с высокогорным питанием за счет ГЭС на реках паводочного режима. Аналогичные примеры могут быть найдены и для изученных нами рек Западной Грузии.

Путь регулирования за счет совместного использования энергии рек разного гидрологического режима должен найти широкое применение на Западном Кавказе.

Глава 3

СЕЗОННЫЕ ВЫСОКОГОРНЫЕ ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ ПРИ КАРОВЫХ ОЗЕРАХ СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Наши исследования в составе Кавказской комплексной экспедиции АН СССР в 1939 г. позволили предложить для условий Кавказа метод сезонного регулирования гидроэлектрической энергии горных рек, основанный на использовании малого высокогорного стока, зарегулированного в чашах горных (преимущественно каровых) озер, при сочетании:

1) сбора высокогорного стока в прилегающих к озеру речных бассейнах при помощи дренажных водосборных поясных каналов на склонах гор и водозаборных плотин на малых ручьях;

2) переброски собранного стока, иногда с подкачкой, в чашу озера (вековые запасы вод которого остаются неприкосновенными) для регулирования по нужному графику, причем гидроаккумулирование (подкачка) производится за счет летних избытков собственной энергии установки;

3) использования высоких напоров, позволяющих получить значительную мощность ГЭС при малых расходах воды.

Как показали технико-экономические расчеты и дальнейшие экспедиционные исследования (1941 г. и 1945—1949 гг.), это решение для ряда районов Кавказа может оказаться весьма эффективным [9, 10, 15, 19].

К недостаткам местных условий расположения каровых озер для целей гидроэнергетического использования относятся их трудная доступность, удаленность от крупных центров и от сетей существующих энергетических систем, а также малые водосборные площади, сток с которых поступает в озерные чаши. Из числа каровых озер Северного и Западного Кавказа могут быть все же выбраны озера, благоприятно расположенные для их энергетического использования.

В табл. 18 приведены ориентировочные данные о возможных напорах и длинах деривации гидроэлектрических установок при наиболее крупных каровых озерах Северного и Западного Кавказа. Схема расположения озера дана на фиг. 11.

Из приведенной выше характеристики каровых озер ясно, что высокогорные каровые озерные котловины, располагаясь на больших абсолютных отметках, обычно имеют весьма малую площадь водосборного бассейна, исчисляемую в лучшем случае несколькими квадратными километрами (табл. 8), тогда как емкости озерных котловин допускают использование стока с площадей в несколько десятков квадратных километров (табл. 9).

Привлечение дополнительного стока возможно забором его из малых рек и ручьев, протекающих вблизи озера, при помощи обычных простейших плотин, или же сбором его, до стекания в русла, на склонах горных хребтов. Сочетание обоих способов дополнительного питания дает наилучший эффект. При заборе стока из русел малых высокогорных ручьев и рек необходима очистка его от наносов, иначе произойдет быстрое заиление озерного водохранилища.

Условия сбора высокогорного стока каналами непосредственно на склонах горных хребтов, до формирования его в ручьи и реки, исследовались на Кавказе Научно-исследовательским институтом гидротехники (НИИГ), который в 1932 г. с этой целью изучал участки бассейна р. Ингури, а также Закавказским научно-исследовательским институтом гидроэнергетики (ЗАКНИГЭИ), проводившим в 1934 г. изучение участков бассейнов рек Б. Зеленчук, Бзыби, Гумиста. Выводы исследований оказались благоприятными, однако они требуют опытной проверки.

Достаточное увеличение питания озерной установки в условиях Кавказа часто невозможно путем самотечной подачи воды с окружающих участков водосборных бассейнов. В этом случае необходимо применение подкачки воды в чашу озерного водохранилища, на значительно меньшую высоту, чем полезная высота ее последующего сброса, что дает возможность не только производить зарядку гидроаккумулятора собственной энергией, но и отпускать некоторое количество избыточной энергии в сеть.

Для установления эффективности подкачки стока может служить зависимость:

$$K_{\text{ак}} = 0,6 \frac{H_{\text{нет}}}{H_{\text{ман}}},$$

где $H_{\text{нет}}$ — полезный напор озерной ГЭС нетто в м,
 $H_{\text{ман}}$ — манометрический напор насосной установки в м.

Таблица 18

Условия энергетического использования некоторых крупных каровых озер Северного и Западного Кавказа

Озера и бассейны	Абсолют. отметка горизонта воды озера (в м)	Возможный ориентировочный напор ГЭС брутто (в м)	Длина деривации (в км)	Удельн. напор на 1 км деривации (в м)	Емкостный модуль стока (в л/сек)	Ближайший населенный пункт (в км)	Назначение озерных ГЭС
Бассейн Терека:							
Оз. Сылтран-Кель, в истоках р. Сылтран-су (бассейн р. Кыртык, правого притока р. Баксан)	3213	1688	5,0	330	40	с. Нижний Баксан 18	Регулирование существующей Баксано-Минераловодской электросистемы
Оз. Гий-Баш-Кель, в истоках р. Сулдар-су (приток р. Черек)	2600	1500	3,0	500	35—40	с. Советское 37	То же
Бассейн Кубани:							
Оз. Уллу-Кель и другие в истоках р. Кичкин-Кол (приток р. Уччулан)	2816	1170	4,0	300	25	с. Маднис-Хеви 18	Регулирование Верхне-Кубанской электросистемы
Озера в истоках р. Джалпа-Кол (приток р. Гондарай)	3200	1600	3,5	290	25	То же	То же
Озера Уллу-Муруджинские на р. Уллу-Муруджу (приток р. Теберды), здание ГЭС в долине р. Теберды	2870 2844}	1450	3,0	207	50	Курорт Теберда 8	"
Оз. Клухори (исток р. Гоначхир)	2692	750	4,0	185	60	Курорт Теберда 25	"
Оз. Кыфар и Чилик (исток р. Кыфар), здание ГЭС в долине р. Архыз	2340	700	6,0	115	35	ст. Зеленчукская 50	Регулирование Краснодарской или Ставропольской электросистемы
Оз. Загедан (р. Б. Лаба)	2575	1460	7,0	207	35	с. Псемен 50	То же
Бассейн р. Бзыби:							
Оз. Мзи (исток р. Мзымты); ГЭС на р. Лашипсе	2100	1000	3,0	333	100	Курорт Рнца 5	Регулирование Западно-Грузинской электросистемы
Бассейн р. Кодори:							
Оз. Аданге (исток р. Чхалты)	2300	700	1,8	390	100	с. Чхалта 50	То же
Озера в истоках р. Кварашни	2000 2500	1000 1500	5,0 5,0	200 300	100	То же 16	То же

Продолжение табл. 18

Озера и бассейны	Абсолютная отметка горизонта воды озера (в м)	Возможный ориентировоч. напор ГЭС брутто (в м)	Длина деривации (в плане) (в км)	Удельный напор на 1 км деривации (в м)	Вероятный модуль стока (в л/сек)	Ближайший населенный пункт (в км)	Назначение озерных ГЭС
Оз. Адуада -Адзышь (на притоке р. Брамбы), ГЭС у р. Гализга . .	2385 2530	2260	17,5	130	75	г. Ткварчели 3	Регулирование Западно-Грузинской электросистемы
Оз. Антоста (исток р. Кабирваш-Квара) . .							
Бассейн р. Ингури:							
Оз. Окро-Цкали (исток р. Дарч)							
а) ГЭС на р. Б. Ходжали (приток р. Гализги) .	2421	500	3,0	170	75	г. Очеччири 50	То же
б) ГЭС на р. Дарч: . .		800	4,0	200		с. Ханши 25	"
Озера на левом и правом склонах долины р. Ненскры	2700	1300	3,0	430	75	То же	"
Оз. Тобо-Варчхело-Дуды; ГЭС на р. Магани .	2800	1200 или 1600	2,5 5,5	480 290	90	устье р. Магани 18	"

Примечание. Кроме перечисленных в бассейне Кубани озер, могут быть использованы озера Хаджибей, Бадукские и Мухинские (р. Теберда), Маркинские (р. Аксаут), Зеленчукские (р. Архыз), Лабинские (реки Б. и М. Лаба) и другие.

Использование сравнительно малых объемов каровых озер для регулирования представляет интерес лишь при возможности сосредоточить очень высокие напоры, компенсирующие недостаток воды.

Средний напор 16 возможных озерных установок на Северном и Западном Кавказе значительно превышает 1000 м (табл. 18), при максимальном 2260 м (оз. Адуада-Адзышь).

Предварительные расчеты по схеме Сылтранской ГЭС (Северный Кавказ) показали, что при напоре брутто 1688 м, т. е. почти предельном в условиях Кавказа, показатель давления в трубопроводе, равный произведению диаметра трубы и напора:

$$DH = 1090 \text{ кг/мм.}$$

В мировой гидроэнергетической практике имело место сооружение многих трубопроводов с более высокими показателями давления.

Приведем примеры некоторых из возможных сезонных высокогорных регуляторов средней мощности при каровых озерах Северного и Западного Кавказа.

Сылтранская озерная ГЭС, предложенная нами для регулирования и усиления Баксано-Минераловодской электроэнергетической системы, на основе полевых экспедиционных исследований Энергетического отряда Кавказской комплексной экспедиции АН СССР, проведенных в 1939—1941 гг., является типичной схемой, включающей приведенный выше комплекс принципов сбора, регулирования и использования малых объемов высокогорного стока [9, 10].

В предвоенные годы проводились многочисленные проектировки новых энергетических узлов, способных усилить и зарегулировать Баксано-Минераловодскую энергетическую систему. При этом рассматривались всевозможные варианты регулирования стока р. Баксан мощными водохранилищами (Заюковское, Гижгитское, Иткольское), регулирование стока его притоков (Гунделен, Черем, Черек и др.), устройство тепловых электростанций на привозном (Котляровская ТЭС) и на местном (Былымская ТЭС) топливе и постройки новых деривационных ГЭС, в том числе и на малых реках, а также варианты частично гидроаккумулирующей озерной Сылтранской ГЭС.

Приближенные расчеты показали, что регулирующие ГЭС и ТЭС дают значительную стоимость квтч вырабатываемой ими энергии и требуют больших капиталовложений, чем Сылтранская ГЭС.¹

Схема Сылтранской установки (фиг. 19) предполагает использование стока высокогорных участков рек Сылтран-су и Мкяра, принадлежащих к бассейну р. Кыртык (левый приток р. Баксан), путем сбора и трансформирования стока в искусственно увеличиваемой чаше оз. Сылтран-Кель и сброса его на турбины гидростанции, расположенной в глубокой долине р. Баксан.

Река Сылтран-су, равно как р. Мкяра с ее притоками Мукал и Су-Баши, являются реками с ледниковым питанием и принадлежат к числу малых рек.

Используемая установкой площадь бассейна р. Сылтран-су составляет лишь 4,73 км², при площади ледников 2,71 км²; в бассейне р. Мкяра используется значительно большая площадь, из которой свыше 50% покрыто льдом.

Высотная зона от 3000 до 4200 м, в которой расположена вся используемая водосборная площадь, имеет в этой части Бокового Кавказского хребта значительный модуль стока.

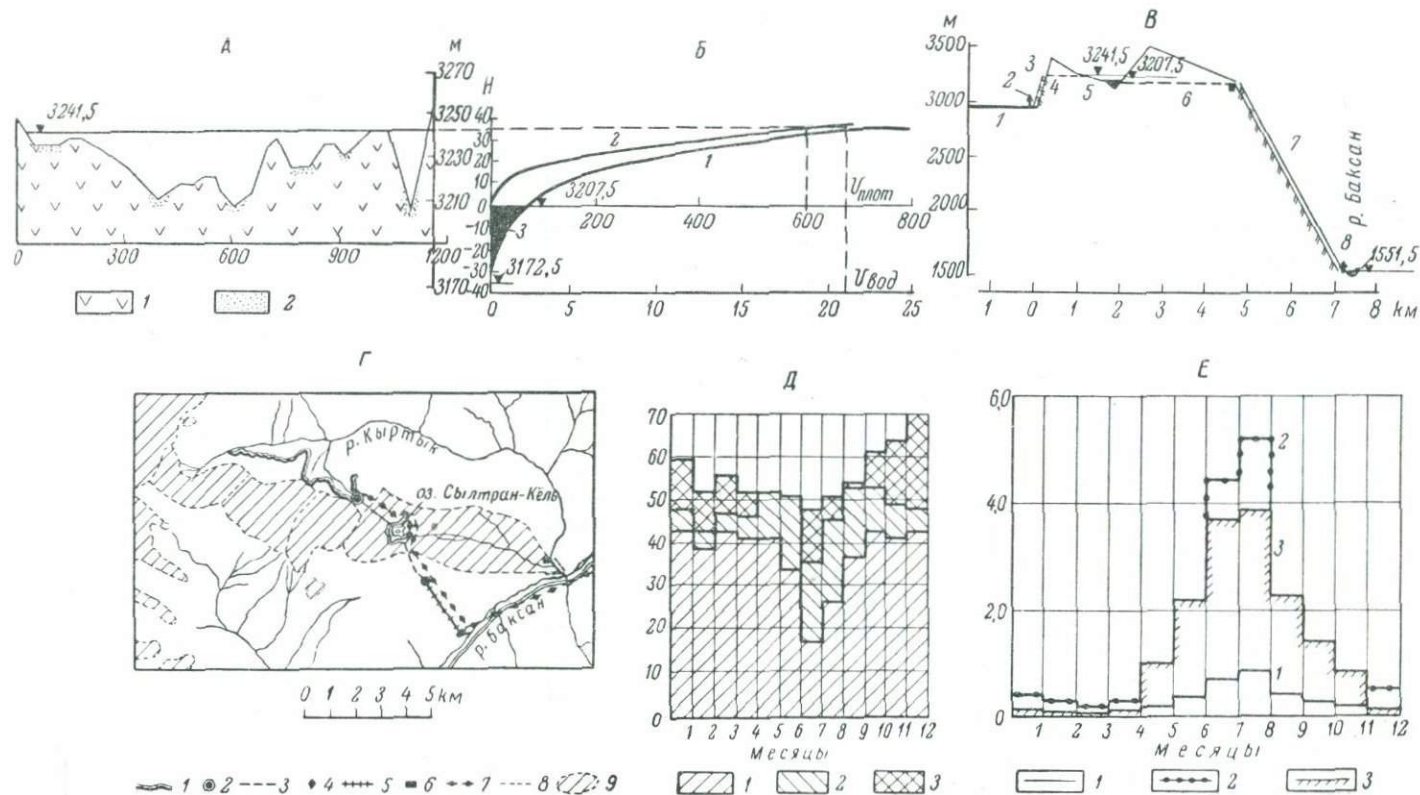
По аналогии с данными наблюдений, проведенных на близлежащих гидрометрических станциях (Юсенги, Чаалмала, В. Черем), за 1924—1938 гг. найдено, что среднегодовой модуль стока здесь составляет около 40 л/сек с 1 км². Эти станции расположены на высотах от 1100 до 1700 м над уровнем моря, что дает право считать их модули стока несколько преуменьшенными для зоны 3000—4200 м.²

Используемая часть бассейна р. Сылтран-су в маловодный год дает сток 7,6 млн. м³. Этот сток поступает в оз. Сылтран-Кель в виде ручьев, стекающих с окружающих его склонов.

Для переброски вод из бассейна р. Мукал в оз. Сылтран-Кель необходима их перекачка через водораздельный хребет, причем абсолютная высота подкачки составит около 250 м, а манометрический

¹ Работы были проведены нами в Энергетическом институте им. Г. М. Кржижановского АН СССР и одобрены экспертизой технического отдела Наркомата электростанций СССР (1940 г.)

² Расчеты проводились методами «парных модулей» [10] и математической статистики.



Фиг. 19. Характеристика Сылтранской озерной ГЭС (см. стр. 97):

А — створ плотины:

1 — магматиты; 2 — аллювий; 3241,5 — отметка подпорного горизонта.

Б — озерное водохранилище:

1 — объем водохранилища в млн. м³ в зависимости от высоты подпора H (в м) $v_{\text{вод}} = f(H)$; 2 — объем тела каменнотранспортной плотины в тыс. м³ в зависимости от высоты подпора H (в м) $v_{\text{плот}} = F(H)$;
3 — объем воды озера; 3207,5 — отметка горизонта воды озера; 3172,5 — отметка дна озера.

В — продольный профиль по сооружениям озерной ГЭС:

1 — водосборный канал, $l = 12,5$ км; 2 — наносная установка, $N = 11,5$ тыс. квт; 3 — напорный трубопровод, $l = 0,4$ км, $h = 275$ м; 4 — тоннель, $l = 1,0$ км; 5 — каровое озеро; 6 — тоннель, $l = 2,0$ км; 7 — напорный трубопровод, $l = 2,7$ км; $h = 1693,5$ м; 8 — здание ГЭС; 3241,5 — отметка подпорного горизонта; 1551,5 — отметка горизонта воды р. Баксан; 3207,5 — отметка горизонта воды оз. Сылтран-Кёль.

Г — схема сооружений озерной ГЭС:

1 — водосборный канал; 2 — насосная станция; 3 — питающий и деривационный тоннели; 4 — плотина; 5 — напорный трубопровод; 6 — здание ГЭС; 7 — линия электропередачи; 8 — граница водосборного бассейна; 9 — ледники.

Д — примерный график работы озерной ГЭС в Баксано-Минераловодской энергетической системе:

1 — энергия ТЭС; 2 — энергия регулируемой ГЭС; 3 — энергия озерной ГЭС.

Е — гидрограф стока, регулируемого озерным водохранилищем:

1 — сток озерного бассейна; 2 — сток озерного и смежного бассейнов; 3 — сток, используемый озерной ГЭС.

Примечание. Отметки условные, поправка для приведения к абсолютным +5,5 м.

напор насосной установки около 275 м.¹ Количество перебрасываемой из бассейна р. Мукал воды определяется, исходя из годовой отдачи энергии Сылтранской установки, необходимой для сезонного регулирования мощности Баксано-Минераловодской электроэнергетической системы.

Исключительно благоприятные топографические условия расположения оз. Сылтран-Кёль позволяют при небольшой длине деривационного тоннеля (около 2 км) подвести зарегулированную в озере воду к гребню крутого скалистого левого склона долины р. Баксан, удобного для прокладки напорного трубопровода, и сосредоточить напор брутто 1688 м. Используемый напор нетто составит около 1500 м, а коэффициент эффективности гидроаккумулирования Сылтранской установки:

$$K_{\text{ак}} = 0,6 \frac{H_{\text{нет}}}{H_{\text{ман}}} \approx 0,6 \frac{1500}{275} \approx 3,3.$$

Каждый кубический метр воды, поднятый в оз. Сылтран-Кёль из бассейна р. Мкяра и затем сброшенный на колеса турбин ГЭС даст в сеть электроэнергетической системы 2,9 квтч нетто.

Как показали примерные расчеты, для регулирования Баксано-Минераловодской электроэнергетической системы необходимо около 100,0 млн. квтч. Для получения такой отдачи Сылтранская ГЭС должна располагать годовым стоком 40,3 млн. м³, для чего надо перебросить из бассейна р. Мукал в Сылтранское водохранилище 32,7 млн. м³ воды. Полная отдача ГЭС при этом составит 136,1 млн. квтч, из которых 36,1 млн. квтч будет израсходовано на подкачку.

Примерный режим работы Сылтранской ГЭС в условный перспективный средний год приведен в табл. 19.

Для сбора стока в бассейне р. Мкяра должен быть проложен водосборный дренажный канал длиной 12,5 км на отметках около 3000 м

¹ Параметры сооружений определены на основе карты 1:42 000, материалов рекогносцировочного обследования с выборочной барометрической нивелировкой, тахеометрическими работами и промерами глубин озера через 25—30 м с лодки по створам с засечками теодолитом.

Таблица 19

Примерный режим работы Сылтранской ГЭС в перспективный год в Баксано-Минераловодской электроэнергетической системе

Месяцы	Потребление электроэнергии (в млн. квтч)	Отдача энергии (в млн. квтч)					Мощность Сылтранской ГЭС (в тыс. квт)	Расходы воды, используемые Сылтранской ГЭС (в м³/сек)	Приток в водохранилище (в м³/сек)			Работа водохранилища	
		ТЭС, или их заменяющие ГЭС	Баксанская ГЭС	Сылтранская ГЭС					из р. Сылтрансу	из р. Мукал (подкачка)	всего	(в м³/сек)	сток (в млн. м³)
				ползвая	питание насосов	всего							
I	60,1	42,4	5,1	12,6	—	12,6	15,5	1,29	0,05	—	0,05	1,24	3,27
II	51,5	38,2	4,0	9,3	—	9,3	13,3	1,15	0,04	—	0,04	1,11	2,69
III	55,3	42,4	4,4	8,5	—	8,5	11,4	0,95	0,02	—	0,02	0,93	2,50
IV	50,7	41,0	5,6	4,1	—	4,1	5,7	0,48	0,04	—	0,04	0,44	1,14
V	51,7	40,9	10,8	—	2,4	2,4	3,3	0,30	0,15	0,82	0,97	-0,67	-1,73
VI	50,8	33,5	17,3	—	5,3	5,3	7,4	0,63	0,33	1,81	2,15	-1,52	-3,95
VII	48,1	16,5	18,6	13,0	8,8	21,8	26,5	2,20	0,68	3,00	3,68	-1,48	-3,87
VIII	50,4	26,4	18,6	5,4	8,8	14,2	19,0	1,58	0,79	3,00	3,79	-2,21	-5,80
IX	54,0	36,5	16,4	1,1	5,5	6,6	9,2	0,76	0,34	1,88	2,22	-1,46	-3,68
X	60,6	42,4	10,6	7,6	3,3	10,9	14,7	1,23	0,21	1,14	1,35	-0,12	-0,32
XI	64,1	41,0	7,0	16,1	2,0	18,1	23,7	1,98	0,12	0,68	0,80	1,18	3,07
XII	70,1	42,4	5,4	22,3	—	23,3	29,8	2,48	0,07	—	0,70	2,41	6,68
Сумма	667,4	443,6	123,8	100,0	36,1	136,1	—	—	—	—	—	—	+19,35 -19,35

на участке от тальвега р. Су-Баши, воды которой забираются в канал при помощи водозаборного сооружения донного типа, до русла р. Мукал, где располагается бассейн насосной установки.

Отметка трассы канала выбрана из расчета получения нужной площади используемого водосбора, и в дальнейшем должна быть уточнена. При уточнении схемы возможна замена некоторых участков водосборного канала короткими тоннелями.

По пути в канал захватываются также воды р. Мкяра и нескольких малых ее притоков. Среднее живое сечение канала рассчитывается на расход воды 1,5 м³/сек. Канал небольшого сечения с бетонной или битумной облицовкой и железобетонным решетчатым или плитчатым каменным перекрытием покрывается слоем камня. Влага, стекающая по склону долины, должна просачиваться через каменную наброску, поступать в канал и вместе с захваченными водами ручьев транспортироваться к бетонированному бассейну насосной установки.

Сбор высокогорного стока в бассейне р. Мкяра может производиться лишь в летний период — с мая по ноябрь; на зимний период система должна освобождаться от воды. В летнем сезоне Сылтранская ГЭС будет иметь ненужную системе мощность, которая может быть использована для приведения в действие насосов, подающих воду в Сылтранское водохранилище. Таким образом, Сылтранская гидроаккумулирующая установка не нуждается в подаче извне энергии для работы насосов.

Насосная установка рассчитана на подачу 3,0 м³/сек и потребляет мощность до 11,5 тыс. квт, передаваемую с шин Сылтранской ГЭС.

Длина напорного трубопровода насосной установки составляет 400 м при диаметре труб 0,9 м.

Из напорного трубопровода вода поступает в тоннель длиной 1 км, пересекающий скалистый водораздел между р. Мукал и р. Сылтран-су, а затем сбрасывается в оз. Сылтран-Кель.

Полезный объем Сылтранского водохранилища, необходимый для трансформирования поступающей в него воды с учетом графика ее потребления, должен составить 20 млн. м³, или около 50% объема используемого годового стока. Получение этого объема, с учетом испарения, обеспечивается устройством плотины высотой 38 м, поднимающей горизонт воды оз. Сылтран-Кель до отметки 3241,5 м.¹ Створ плотины пересекает два современных и два древних русла, вытекающих из озера ручьев, образующих р. Сылтран-су, и имеет зубчатый профиль. При выполнении плотины из каменной наброски, материал для которой имеется на месте, объем ее тела составит около 600 тыс. м³. Склоны в створе плотины сложены скалистыми изверженными коренными породами (гранодиориты) и на некоторую глубину прикрыты слоем их обломков. В руслах ручьев имеется слой наносов (ледниковая морена), по видимому, небольшой глубины. Железобетонный экран и диафрагма плотины предупредят фильтрацию.

Зарегулированный водохранилищем сток поступит в деривационный тоннель длиной 2 км, проложенный в скалистом массиве и выводящий воду к склону долины р. Баксан. Уравнительная камера соединит тоннель с напорным трубопроводом длиной 2700 м, для прокладки которого используется крутой скалистый склон. Здание ГЭС, вмещающее две турбины по 15 тыс. квт, будет расположено в пойме р. Баксан, несколько выше по течению с. Верхний Баксан, на левом берегу реки.

¹ Гребень плотины на 4 м превышает максимальный подпорный горизонт. Отметка условная; поправка для приведения к абсолютной 5,5.

Напорный трубопровод Сылтранской ГЭС имеет диаметр 0,65 м, рассчитан на расход воды 2,5 м³/сек и явится одной из наиболее ответственных частей установки, благодаря концентрации сверхвысокого напора, достигающего с учетом гидравлического удара 1693,5 м.

Облегчение конструкции Сылтранского напорного трубопровода может быть достигнуто разбивкой напора на две ступени. Здание Сылтранской ГЭС будет расположено в 19 км от Нижне-Баксанской подстанции Баксанской ГЭС. Линия электропередачи, соединяющая Сылтранскую ГЭС с подстанцией, пройдет по долине р. Баксан, вдоль автомобильного шоссе Нальчик — Эльбрус.

Технико-экономические показатели Сылтранской ГЭС приведены в табл. 20, где даны также показатели других рассматривавшихся вариантов регулирования энергии Баксано-Минераловодской электроэнергетической системы.

Таблица 20

Сравнительная характеристика вариантов регулирования энергии Баксано-Минераловодской электроэнергетической системы (средний год) (в ценах 1949 г.)

Показатели и варианты регулирования	Установленная мощность (в тыс. квт)	Полезная отдача энергии		Объем приведенного бетона		Капиталовложения ¹		Стоимость установ.	
		(в млн. квтч)	(в %)	всего (в тыс. м ³)	на 1000 квтч (н м ³)	всего (в млн. руб.)	на 1 квтч (в руб.)	1 квтч (в тыс. руб.)	1 квтч энергии (в коп.)
Сылтранская гидроаккумулирующая одноступенчатая ГЭС	30	128,5	100	345,6	3,4	200	1,58	6,6	8,0
Заюковская ГЭС	33	163,9	123	1309,0	9,2	395	2,40	12,0	9,6
Иткольская ГЭС	49	134,7	105	983,0	7,7	400	3,10	8,2	10,0
Гижгитская ГЭС	49	146,2	114	1950,0	15,1	695	5,32	14,3	13,2
Котляревская ТЭС на донецком штыбе	25	—	125	—	—	—	—	—	15,2
Былымская ТЭС на местных углях	12	—	60	—	—	—	—	—	23,0
Кисловодская ТЭС на жидком топливе	13	—	65	—	—	—	—	—	13,4

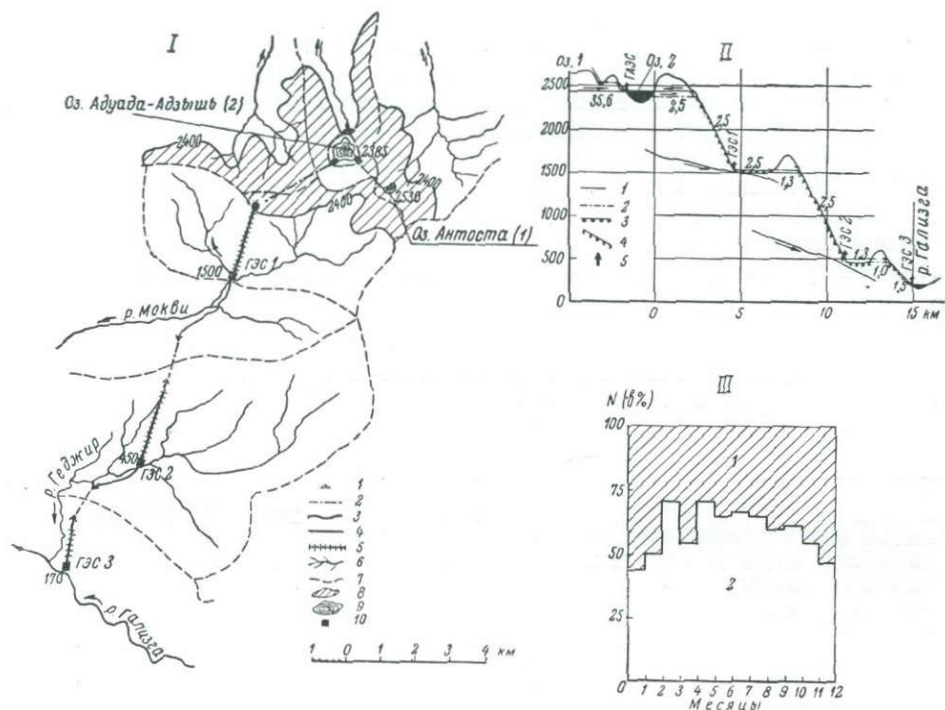
¹ Стоимость 1 т трубопровода Заюковской, Иткольской и Гижгитской ГЭС принята в 5000 руб., Сылтранской ГЭС — в 20 000 руб.

Сооружение Сылтранской ГЭС может быть разбито на несколько очередей.

Сравнение технико-экономических показателей Сылтранской ГЭС с другими возможными вариантами сезонного регулирования Баксано-Минераловодской системы показывает выгодность схемы сезонных высокогорных регуляторов средней мощности при каровых озерах в условиях Северного Кавказа и необходимость дальнейшего изучения этой проблемы. Основными трудностями при сооружении Сылтранской ГЭС и ей подобных являются: устройство дренажных систем и водозаборов на больших абсолютных высотах и монтаж напорного трубопровода, работающего под большим давлением. Сылтранскую ГЭС следует рассматривать как опытную установку, на которой может быть изучен новый в условиях СССР метод сезонного регулирования, с одновременным решением вопроса регулирования энергии Баксанской ГЭС и создания для Баксано-Минераловодской электроэнергетической системы аварийного резерва.

Озерная ГЭС Адуада-Адзышь, использующая чаши каровых озер Адуада-Адзышь и Антоста, имеет несколько иную схему. Как

показано выше (гл. 7), оз. Адуада-Адзышь находится в истоках р. Бытихах, притока Брамбы (бассейн Кодори), у северного гребня Кодорского хребта. Гребень хребта отделяет озеро от долины р. Гализги, в которую и намечается сброс зарегулированных в озере вод с использованием напора 2260 м. Необычайно высокий напор, условия рельефа и возможность привлечения дополнительного стока р. Мокви делают целесообразным ступенчатое использование напора (фиг. 20).



Фиг. 20. Схема озерной ГЭС Адуада-Адзышь:

I — схема сооружений: 1 — плотина; 2 — тоннель; 3 — канал дренажный; 4 — деривационный канал, или закрытый водовод; 5 — напорный трубопровод; 6 — реки; 7 — водоразделы; 8 — дренируемая площадь; 9 — озеро; 10 — здание ГЭС.

II — продольный профиль по оси сооружений: 1 — дренажный канал; 2 — тоннель; 3 — канал деривационный, или закрытый водовод; 4 — напорный трубопровод; 5 — ГАЭС, ГЭС.

Примечание. Цифрами указаны длины сооружений в километрах.

III — примерный график работы озерной ГЭС с незарегулированными ГЭС Западного Кавказа: 1 — энергия озерной ГЭС; 2 — энергия регулируемых ГЭС.

Оз. Адуада-Адзышь (2385 м выше уровня моря) — наиболее крупное из каровых озер Западного Кавказа. Объем его чаши составляет около 7,6 млн. м³ при измеренных глубинах более 65 м. На расстоянии 1,2 км от оз. Адуада-Адзышь расположено второе каровое озеро — Антоста (2530 м ниже уровня моря) с объемом чаши около 0,4 млн. м³, при вероятных глубинах до 16 м. Путем подпора на 15—25 м плотиною в прочных туфо-порфиридах, объем чаши оз. Адуада-Адзышь возможно увеличить до 20—30 млн. м³. Значительно можно увеличить и емкость чаши оз. Антоста. Зарегулированный в озерах высокогорный сток может быть сброшен в долину р. Гализги на абсолютную отметку 120 м при помощи деривационных сооружений длиной около 15 км.

Основным сезонным регулятором стока проектируемого каскада ГЭС должна служить чаша оз. Адуада-Адзышь, тогда как чаша оз. Антоста может быть использована для устройства подсобного гидроаккумулятора, работающего в периоды избытков мощности в системе и выполняющего роль суточного регулятора и аварийного резерва.

Водосборные площади, контролируемые озерами Адуада-Адзышь и Антоста, малы и для наиболее полного использования регулирующей способности их чаш должен быть привлечен сток с площадей, находящихся за пределами их водосбора. Высокое значение модуля стока (около 75 л/сек в средний год) облегчает задачу пополнения стока, для чего на склонах смежных бассейнов необходима прокладка сети водосборных поясных дренажных канав. Собранный канавами сток должен поступать самотеком или с подкачкой в озерную чашу оз. Адуада-Адзышь, в ней регулироваться, а затем направляться в деривационный тоннель ГЭС № 1.

Комплекс местных условий делает выгодной разбивку используемого напора на три ступени, параметры которых приведены в табл. 21,

Таблица 21

Ориентировочные параметры ГЭС № 1—3 Адуада-Адзышь

Показатели	ГЭС № 1	ГЭС № 2	ГЭС № 3	Сумма
Напор (в м)	900	1050	230	2230
Расходы воды (в м ³ /сек)	2,2	2,75	6,85	—
Мощность (в тыс. квт)	20,0	25,0	15,0	60,0
Регулирующая отда- ча (в млн. квтч)	53,0	129,0	78,0	260,0
Тип и длина дерива- ции (в км)	Тоннель 2,5	Тоннель 1,5 Трубопровод 2,5	Тоннель 1,0 Трубопровод 1,3	Тоннель 5,0 Трубопровод 3,8
Длина напорного тру- бопровода (в км)	2,5	2,5	1,5	6,5
Место расположения здания станции	Пойма р. Мокви	Пойма р. Б. Геджир	Пойма р. Гализги	—

причем в деривацию ГЭС № 2, водозабор которой располагается у русла р. Мокви, дополнительно забираются воды этой реки, а в деривации ГЭС № 3 с водозабором у русла р. Б. Геджир, также и воды последней. Машинное здание ГЭС № 3 размещается в пойме р. Гализги у ж.-д. линии, вблизи г. Ткварчели. Кроме этих трех установок здесь возможно сооружение ГЭС № 4, которая явится гидроаккумулирующей установкой с напором 140 м, причем верхним резервуаром должна служить чаша оз. Антоста, а нижним — чаша оз. Адуада-Адзышь. При подпоре горизонта воды оз. Адуада-Адзышь только на 12 м (при этом каменнонабросная плотина имеет длину по гребню 150 м) и при самотечном сборе стока с площади около 20 км², каскад ГЭС Адуада-Адзышь может полностью зарегулировать провалы мощности Рионской и Сухумской гидроэлектрических установок и

довести обеспеченную мощность западно-грузинской электроэнергетической системы до 100 тыс. квт, т. е. утронть ее современную обеспеченную мощность.

Для этого необходимы дренажные канавы на отметках около 2400 м, длиной до 35 пог. км со средней пропускной способностью около 0,75 м³/сек.

При этой схеме установленная мощность каскада гидростанций Адуада-Адзышь достигнет 60 тыс. квт, а их годовая отдача 260 млн. квтч. Общая сумма капиталовложений, в ценах 1949 г., составит 300—400 млн. руб., а удельные затраты на 1 квт — 5—6 тыс. руб., а на 1 квтч регулирующей отдачи — 1,25—1,50 руб.

Примерная схема сооружений ГЭС Адуада-Адзышь и ее работы в системе показана на фиг. 18. Мощность, годовая отдача и регулирующая эффективность ГЭС Адуада-Адзышь могут быть значительно увеличены при дальнейшем повышении подпора зеркала озера и должны быть уточнены с учетом графика нагрузок западно-грузинской системы. Подпор горизонта воды озера на 25 м создаст полезный объем чаши около 28 млн. м³ и возможность привлечения стока с новых площадей с подкачкой на 100—200 м. Мощность установок может превысить 100 тыс. квт, с регулирующей отдачей 500 млн. квтч, способной зарегулировать гидроэнергетическую систему с годовой отдачей до 2 млрд. квтч.

Таким образом, использование чаш каровых озер Адуада-Адзышь и Антоста даст возможность создать крупную систему регулирующих установок в районе, реки которого (Бзыби, Кодори, Ингури и др.) не имеют благоприятных условий для устройства водохранилищ.

Строительство установок Адуада-Адзышь по предлагаемой схеме можно вести очередями в любом порядке, так как нижние ГЭС № 2 и № 3 при использовании только стока бассейна р. Мокви, имеющего небольшие высокогорные площади, без участия озерного водохранилища Адуада-Адзышь, будут отличаться по своему режиму от ГЭС на р. Риони, имеющей резко выраженный гидрограф высокогорного питания и также явятся регулируемыми установками.

Озерная ГЭС Уллу-Муруджу может использовать емкость Уллу-Муруджинских каровых озер Кёк-Кёль и Кара-Кёль, расположенных у водораздела между притоками Теберды — Гоначхир и Уллу-Муруджу, в бассейне последней. Озера Кёк-Кёль и Кара-Кёль разделены между собой узким скалистым гребнем и отделены от долины р. Уллу-Муруджу невысокими гранитными порогами.

Сушность одной из возможных схем энергетического использования Уллу-Муруджинских озер заключается в подпоре горизонта воды обоих озер до одного и того же абсолютного уровня и в сбросе зарегулированной в соединенных коротким тоннелем чашах озер воды при помощи тоннельной деривации и напорного трубопровода в Тебердинскую долину, где должно быть расположено здание ГЭС. По наиболее удобному направлению деривации вдоль водораздельного гребня Уллу-Муруджу-Гедейж, длина деривационного тоннеля составит 3,4 км, а длина напорного трубопровода 3,5 км. Возможен также сброс в долину р. Гоначхир, что сократит длину тоннеля до 1,0 км, а длину трубопровода до 1,7 км, но уменьшит напор на 250 м и удалит установку от населенных пунктов.

Оптимальная высота подпора уровня воды озер зависит от ряда факторов, важнейшим из которых является объем регулируемого стока.

При возможной по условиям топографии высоте подпора оз. Кёк-Кель в 35 м, уровень оз. Кара-Кель должен быть поднят на 11 м. Получаемый при этом полезный объем водохранилища (около 21 млн. м³) явился бы достаточным для полного годовичного регулирования стока 42,4 млн. м³ с площади 26,6 км² (табл. 9). При работе водохранилища по неравномерному графику ГЭРР в системе гидроэлектрических станций на ледниковом незарегулированном стоке, регулирующий объем водохранилища ГЭРР должен составлять около 1,5 объемов годовичного регулирования [13]. В последнем случае водохранилище способно регулировать лишь 28 млн. м³ в год. Для полного использования емкости водохранилища, в дополнение к стоку с площади 2 км², поступающему с окружающих склонов непосредственно в озеро, нужно собрать дополнительный сток с площади 11,3 км² и перебросить его в водохранилище. Дополнительный сток может быть собран двумя путями: дренажными каналами на склонах прилегающих к озерам долин рек Уллу-Муруджу, Гедейж и Гоначхир, или же обычным плотинным водозабором из р. Уллу-Муруджу. В обоих случаях может оказаться целесообразной подкачка в озерное водохранилище части собранного стока. Длина питающей деривации при водозаборе из р. Уллу-Муруджу составит 2,5—3,0 км.

Местные условия позволяют сосредоточить напор до 1450 м при сбросе в долину р. Теберды (вариант 1) и до 1200 м при сбросе в долину р. Гоначхир (вариант 2). При среднем годовом расходе воды 0,9 м³/сек, средняя годовая мощность установки составит от 8,5 до 10,5 тыс. квт, а регулирующая отдача от 75 до 93 млн. квтч в год. Уллу-Муруджинский озерный сезонный регулятор в состоянии зарегулировать местную электроэнергетическую систему с отдачей до 250—300 млн. квтч, включающую ГЭС на незарегулированном стоке рек с высокогорным питанием. Возможное по местным условиям повышение подпора озерных чаш еще на 10—15 м позволило бы удвоить регулирующую мощность установки.

Основными потребителями энергии Верхне-Тебердинских гидроэлектрических станций явятся развивающаяся здесь промышленность редких металлов, электрифицированный транспорт и курортное строительство.

Приведенные примеры сезонных высокогорных гидроэлектрических регуляторов средней мощности показывают, что использование чаш каровых озер может иметь большое значение для развития высокогорной гидроэнергетики. При помощи каровых чаш возможно разрешить в ряде районов проблему сезонного регулирования энергии ГЭС на реках, долины которых не обладают благоприятными условиями для устройства водохранилищ.

Кроме приведенных примеров, эффективные сезонные гидроэлектрические регуляторы этого типа могут быть намечены на базе системы каровых озер хребта Абишира-Ахуба в верховьях рек Б. Зеленчук, Уруп, Б. Лабы (озера Уруп, Кыфар, Чилик, Загедан и др.), а также при озерах вулканического Кельского плато (верховья рек Терека, Арагви, Ксанка) и в других районах Кавказа.

Наибольшие трудности при осуществлении сезонных регуляторов, использующих высокогорные озера, заключаются в сооружении высоконапорных трубопроводов, а также в устройстве и эксплуатации высокогорных водосборных систем. Выбор рациональных конструкций водосборных канав и изучение условий их работы на опытно-промышленных моделях должны явиться темой специальных исследований.

Глава 4

**ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЙОННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ (ГЭРР)
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО КАВКАЗА**

Спецификой гидроэнергетических ресурсов главнейших горных рек Северного и Западного Кавказа является неравномерность сезонного распределения мощности. Как было установлено выше, основными запасами энергии здесь обладают водные источники с преобладанием высокогорного питания, при котором 70—80% стока протекает за три-четыре летних месяца, а зимний сезон характеризуется резким маловодьем. В отличие от равнинных рек и от рек горных районов более древнего происхождения (например, р. Урала), для регулирования стока которых обычно достаточна высота плотины в несколько десятков метров, значительное сезонное регулирование стока горных рек Северного и Западного Кавказа возможно лишь при подпорах порядка сотни метров и при наличии особо благоприятных объемных характеристик долин.

Высокие требования к надежности створа плотины и чаши водохранилища в геологическом отношении приводят к исключительно строгому отбору участков для регулирующих водохранилищ, в результате чего лишь немногие реки Северного и Западного Кавказа оказываются возможным полностью зарегулировать.

Частичное сезонное регулирование рек в условиях Северного и Западного Кавказа в большинстве случаев экономически невыгодно, так как, давая относительно небольшой эффект, также требует возведения плотин значительной высоты вследствие узости долин, сравнительно больших уклонов русел рек и высокой мутности речных вод. Нередко только для получения достаточного для аккумуляирования речных наносов мертвого объема плотины должны иметь большие высоты. Так, например, водохранилище на р. Кара-Койсу с плотинной высотой 50 м оказалось полностью заиленным в течение 12 лет работы. Поэтому во многих случаях приходится отказываться от регулирования стока и намечать ГЭС на бытовом стоке, максимально регулируя при этом потребление электроэнергии при помощи сезонных потребителей. ГЭС, работающие без участия регулирующих установок, способны, однако, удовлетворить лишь невысокий уровень энергопотребления.

В ч. III, гл. 2 указаны возможные пути регулирования энергии ГЭС в горных районах Северного и Западного Кавказа и обоснованы общие принципы развития здесь энергетических систем с высоким гидроэлектрическим коэффициентом, в зависимости от уровня энергопотребления. Высший уровень электронагрузок (сотни тысяч киловатт), как показано ранее, может быть покрыт лишь при помощи гидроэлектрических районных регуляторов (ГЭРР) на базе водохранилищ большой емкости.

Исследования показывают, что в горных районах Северного и Западного Кавказа возможно создание мощных, полностью зарегулированных, энергетических систем. Такие системы должны объединять группу гидроэлектрических станций (А), работающих на незарегулированном стоке реки А и имеющих установленную мощность выше обеспеченной с группой ГЭС (Б), расположенных на реке Б и зарегулированных так, чтобы их сезонная мощность дополняла мощность ГЭС

первой группы (А) до заранее заданной величины. В такой системе в любой сезон года должно соблюдаться равенство:

$$\Sigma N_A + \Sigma N_B = P,^1$$

где P — мощность по нагрузке, в сезонном разрезе близкая к постоянной.

Отвечающая этому условию система гидроэлектрических станций может быть создана при наличии мощного регулирующего водохранилища в составе головной установки группы (Б), электрически регулирующей группу установок (А).

Применение интегральных кривых энергии, построенных при условии, что на реке Б имеется водохранилище, регулирующее полностью отдачу сооруженной при нем ГЭС и, кроме того, имеющее избыточный объем, дает возможность найти объемы водохранилища V , необходимые для регулирования отдачи всей системы ($\Sigma N_A + \Sigma N_B$) при различной полноте использования стока реки.

Проводимые нами исследования по схеме ГЭРР, результаты которых частично изложены в наших работах 1948—1951 гг. [15, 20], показывают, что применение схемы ГЭРР в условиях рек с преобладанием ледникового питания дает весьма большую экономию в капиталовложениях. Эффективность районного гидроэлектрического регулятора повышается, если по этой же схеме к нему приключаются установки на ряде рек, или если ниже него на реке возможна постройка ряда ГЭС, работающих на «перевернутом» графике стока.

При электрическом объединении на базе ГЭРР гидроэлектростанций на реках разного гидрологического типа, энергетическая эффективность водохранилища ГЭРР может существенно возрасть в связи с уменьшением объема, необходимого для совместного регулирования энергии рек разного режима. При этом сочетание рек преобладающего высокогорного питания, с половодьем в теплую часть года (тип I), и рек дождевого питания, с паводочным режимом (тип III), оказывается наиболее выгодным. В этом случае эффективность ГЭРР возрастает в несколько раз, сравнительно с совместным использованием по схеме ГЭРР рек сходного режима. Принципиальное и практическое значение этого вывода чрезвычайно велико, он дает обоснование постановки исследований на реках горных районов, использование которых ранее, при изолированной работе ГЭС на их стоке, считалось невыгодным.

Примером является упомянутая выше схема сочетания энергии сравнительно небольших рек Западного Кавказа с дождевым питанием (Пишиш, Пшеха, Туапсе, Псекупс, Псезуапсе и др.) и энергии более мощных рек с высокогорным питанием (Белая, Мзымта), позволяющая создать крупную зарегулированную электроэнергетическую систему в районе, где ранее это считалось невозможным.

Сочетание энергии рек I типа и рек с весенним половодьем IV типа также является весьма перспективным, так как дает увеличение эффективности регулирования на 25—65%, в зависимости от расположения водохранилища на реке I типа или на реке IV типа. Это дает право поставить вопрос о необходимости изучения проблемы совместной работы ГЭС на крупных реках Кавказа с высокогорным питанием (Сулак, Терек, Кубань и др.) с гидроэлектрическими станциями на Дону, Волге,

¹ Предполагается, что суточное регулирование ведется особо на каждой ГЭС, а для многолетнего регулирования, которое в условиях рек рассматриваемого типа имеет второстепенное значение (коэффициент вариации годового стока составляет 0,10—0,15), должен быть предусмотрен специальный объем водохранилища на реке Б.

Днепре, что приобретает особое значение в связи со строительством Сталинградской, Цымлянской и Каховской ГЭС.

Долины рек Северного и Западного Кавказа имеют до десятка расширений, которые должны быть изучены с целью выяснения их пригодности для водохранилищ большой емкости. Главная часть их находится в бассейнах Кубани и Терека.

Крупные и средние реки южного склона — Ингури, Кодори, Бзыби, Мзымта, Шахе, Гумиста, Гализга и другие не имеют соответствующих условий. Исключение представляет находящаяся за пределами исследуемой территории долина р. Риони, обладающая значительными расширениями в районах селений Сори и Намохвани. В бассейне Сулака выявлено лишь два-три расширения, а в бассейне Самура нет пригодных для этой цели участков.

Наибольший интерес для устройства ГЭРР в бассейне Кубани представляют расширения Хамышинское на р. Белой, Загеданское на р. Б. Лабе, Эльбрусское и Беломечетское на р. Кубани, Архызское на р. Б. Зеленчуке и Нижне-Тебердинское на р. Теберде (фиг. 11).

Суммарная потенциальная среднегодовая регулирующая способность (энергетическая эффективность) ГЭРР при водохранилищах в названных расширениях, достигающая 11 млрд. квтч¹ (табл. 7), была бы достаточной для полного годовичного регулирования мощности непрерывных каскадов гидростанций, использующих все реки Кубанского бассейна.

Для регулирования выявленных в Кубанском бассейне схем гидроэлектрических станций с установленной мощностью (близкой к средней годовой) порядка 1 млн. квт и с обеспеченной круглый год мощностью около 150 тыс. квт потребовалось бы около 3 млрд. квтч регулирующей энергии. Таким образом, ГЭРР Кубанского бассейна способны не только зарегулировать все выявленные ГЭС бассейна и обеспечить развитие энергетической базы Западного Кавказа на ряд пятилетий, но и выравнять мощность ГЭС в смежных речных бассейнах южного склона.² Потребность этих бассейнов (от р. Шахе до р. Ингури включительно) в регулирующей энергии, при сплошном энергетическом использовании всех рек, составляет около 9,5 млрд. квтч в год.

Мощность ГЭС на незарегулированных реках южного склона, равная 1 млн. квт, может быть полностью выравнена при наличии 2 млрд. квтч регулирующей энергии в год.

Следовательно, для получения на Западном Кавказе (без бассейна Риони) круглогодовой мощности в пределах от 1 до 2 млн. квт, необходимо сооружение ГЭРР с годовой энергетической эффективностью от 2 до 5 млрд. квтч, в зависимости от режима используемых рек. При сочетании рек различного режима необходимая энергетическая эффективность ГЭРР, вероятно, может быть снижена в 1,5—2,0 раза.

Любые два-три ГЭРР, из числа указанных, способны обеспечить нужное количество регулирующей энергии для развития гидроэнергетики на Западном Кавказе в ближайшие пятилетия.

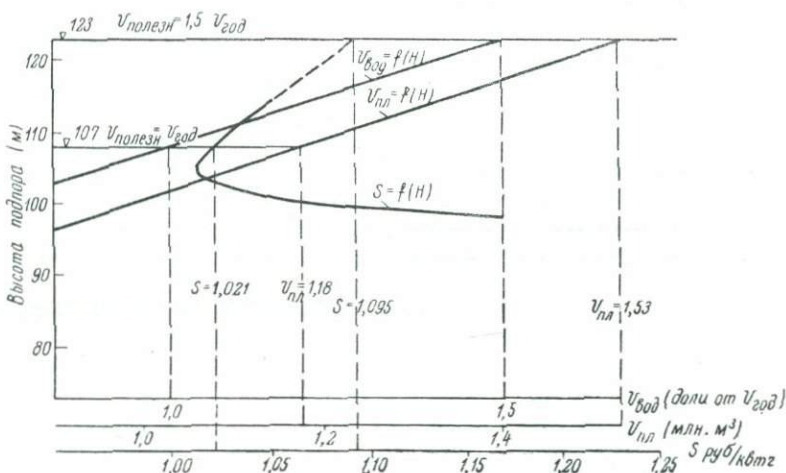
Первоочередными ГЭРР должны явиться: Хамышинский с плотиной в гранитном ущелье р. Белой, а затем Загеданский с плотиной в

¹ При условии полного использования регулирующего объема всеми нижележащими гидростанциями от створа водохранилищной плотины до базиса эрозии данной реки.

² Передача регулирующей энергии была бы возможной из бассейна Кубани также на восток, в бассейн Терека, если бы оказалось нецелесообразным устройство в бассейне Терека собственных мощных ГЭРР.

гранито-гнейсах и кристаллических сланцах ущелья Б. Лабы. Принципиальная схема каждого из этих ГЭРР предполагает устройство плотин с подпором 100—120 м, что позволит запастись сток в весенне-летний период и сбрасывать его в осенне-зимний на нижележащем каскаде ГЭС, работающих с превышением зимней мощности над летней. Это даст возможность полного выравнивания мощности приключенных к ГЭРР незарегулированных установок на других реках, не имеющих водохранилищ.

Хамышинское водохранилище и регулируемый им каскад одиннадцати установок с напором более 400 м имеет достаточную инженерно-геологическую и проектную изученность для предварительного суждения о целесообразности устройства на его базе мощного ГЭРР.



Фиг. 21. Головная установка Хамышинского ГЭРР на р. Белой:

$V_{год}$ — объем, необходимый для годичного регулирования; $V_{вод}$ — объем водохранилища; $V_{пл}$ — объем плотины; $V_{полезн}$ — полезный объем водохранилища; S — капиталовложения на 1 квтч; H — высота подпора.

Белореченский каскад ГЭС и ранее рассчитывался как регулируемый, но с недостаточным (менее двукратного) превышением зимней мощности над летней, при высоте подпора Хамышинской плотины 108 м.¹ Представляется целесообразным повышение подпора до 120—125 м, что позволит довести полезный объем водохранилища до 1,5 объемов годового регулирования и обеспечит превышение зимней мощности Белореченского каскада над летней до трех раз. При этих условиях может быть достигнуто полное годичное выравнивание мощности гидроэлектрической системы с годовой отдачей 3—4 млрд. квтч, включающей кроме ГЭС на р. Белая также установки на незарегулированном стоке других рек.

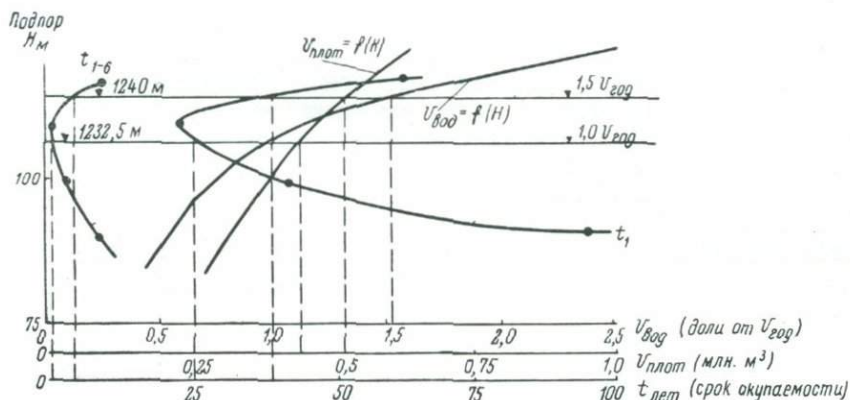
Повышение подпора до 123 м, сравнительно с подпором 108 м, дает увеличение объема тела Хамышинской плотины на 30%, а удельных капиталовложений по Хамышинской ГЭС лишь на 8% — до 1 р. 10 к. на 1 квтч, в ценах 1949 г.

Кривая изменения объема плотины и удельных капиталовложений по Хамышинской ГЭС, в зависимости от высоты подпора, приведена на фиг. 21. Таким образом, экономичность Хамышинского ГЭРР

¹ Работы велись в 1938 г. в Бюро схем Гидроэнергопроекта при нашем участии.

является достаточно высокой даже без учета его роли как регулятора энергетической системы, способного заменить значительные (200—300 тыс. квт) тепловые мощности.

Еще более мощным и эффективным может оказаться Загеданский ГЭРР на р. Б. Лаба. При аналогичных Хамышинскому ГЭРР условиях расположения в голове каскада ГЭС, Загеданское водохранилище командует вдвое большим напором, имеет в 2,2 раза большую энергетическую



Фиг. 22. Головная установка Лахранского ГЭРР на р. Малке: t_1 — при изолированной работе; t_{1-6} — при работе в каскаде.

эффективность и, очевидно, окажется в состоянии зарегулировать энергетическую систему с годовой отдачей 5—7 млрд. квтч. Створ Загеданской плотины сложен прочными кристаллическими сланцами и допускает сооружение высокой плотины. Инженерной схемы использования р. Б. Лабы не существует; однако вдвое больший средний уклон и в 1,5 раза большая потенциальная мощность Б. Лабы, сравнительно с Белой, дают основание предполагать выгодность ее энергетического использования и указывают на необходимость ее детального изучения.

Пример эффективности схемы ГЭРР дает также Лахранский ГЭРР на р. Малке, на базе водохранилища, командующего каскадом из шести ГЭС. Расчет, проведенный при условии работы малкинских установок на выравнивание мощности Баксано-Минераловодской системы, показал, что наиболее выгодным по срокам окупаемости является вариант подпора высотой 116 м, с объемом сливной призмы, вмещающей 1,5 объема нужного для годовичного регулирования (фиг. 22). Сравнительная характеристика совместной работы с Баксанской ГЭС не только установки при Лахранском водохранилище (кривая t_1), но и всех шести ГЭС регулируемого этим водохранилищем каскада (кривая t_{1-6}) показывает, насколько важно многократное (в каскаде) использование регулирующей способности водохранилища, значительно повышающее экономичность ГЭРР.

По данным Севкавгидроэлектропроекта — А. В. Лавров [24], — Зармагское водохранилище на р. Ардон с плотиной, создающей напор 135—140 м, способно так перераспределить сток реки, что три ГЭС (Кассарская, Унальская и Алагирская), работающие на перерегулированном стоке, смогут отдать более 1 млрд. квтч зимней энергии на заполнение провалов мощности ГЭС на других реках. Это дало бы возможность полностью зарегулировать действующие Баксанскую и Гизельдонскую ГЭС, проектируемые на р. Терек Дарьяльскую и Эзминскую

ГЭС, а также ряд других установок и создать первоклассную полностью зарегулированную систему мощностью около 500 тыс. квт с отдачей 2,3 млрд. квтч, при затратах на 1 квтч энергии менее 50 коп. Мощные ГЭРР могут быть созданы также на базе Эльхотовского водохранилища на р. Терек и Ирганайского водохранилища на р. Сулак. Имеющихся проектно-изыскательских данных по этим водохранилищам недостаточно для выявления энергоэкономических показателей ГЭРР, по энергетической же эффективности (табл. 7) и по значению для развития гидроэнергетики не только на Северном Кавказе, но и в смежных с ним областях, они, безусловно, имеют первостепенное значение.

Сооружение мощных ГЭРР на Северном и Западном Кавказе представляет интерес не только для развития местных энергетических систем; на их базе в дальнейшем могут быть осуществлены межрайонные высоковольтные связи Северо-Кавказских электросистем с Закавказскими, Южной и Нижне-Волжской.

Важность проблемы ГЭРР, применение которых в ряде горных районов является единственным способом создания мощных надежных энергетических систем, с минимальным участием тепловых электростанций или вовсе без их участия, указывает на необходимость всестороннего изучения этой проблемы.

На Северном и Западном Кавказе должны быть проведены проектно-изыскательские работы для обоснования первоочередных ГЭРР.

Глава 5

К ВОПРОСУ О СООРУЖЕНИИ РЕГУЛИРУЮЩИХ ПЛОТИН НА ГОРНЫХ РЕКАХ МЕТОДОМ ЗАВАЛА

Как показано выше, эффективное использование водной энергии горных рек Северного и Западного Кавказа невозможно без существенного сезонного регулирования и развитие здесь гидроэнергетики в этом случае может иметь лишь весьма ограниченные пределы. Вместе с тем, устройство регулирующих водохранилищ на горных реках часто связано с большими трудностями в силу неблагоприятных естественных условий для сооружения высоких плотин обычных (инженерных) типов.

В условиях горных долин Северного и Западного Кавказа высота подпора, необходимая для получения достаточной регулирующей емкости, обычно измеряется многими десятками метров и лежит иногда в пределах 100—200 м, а для некоторых рек, как, например, для проектировавшейся Черкейской плотины на р. Сулак и для регуляторов стока р. Ингури даже превышает последнюю величину.

Строительство высоких плотин при сооружении мощных ГЭС на горных реках является наиболее трудоемкой работой, стоимость которой нередко достигает 80—90% от всей суммы капитальных затрат по регулирующей установке в целом.

Кроме больших капиталовложений (десятки и даже сотни миллионов рублей), сооружение высоких плотин обычно требует затраты многих тысяч тонн дефицитных материалов при применении бетонных и железобетонных плотин, сопряжено с трудностью доставки материалов и громоздких механизмов в районы, удаленные от хороших путей сообщения, связано с необходимостью размещения сотен и тысяч людей в необжитых горных ущельях и требует напряженного многолетнего труда.

Плотины небольшой высоты на горных реках Северного и Западного Кавказа обычно не решают проблемы сезонного регулирования, ибо, как правило, создаваемые ими объемы сливных призм малы и в самые короткие сроки подвергаются заилению (примеры — Гизельдон-ГЭС, Гергебиль-ГЭС).

Наши исследования [14, 19] позволяют поставить вопрос о применении принципиально нового в условиях СССР метода плотиностроения путем завала горных ущелий при помощи мощных взрывов скалистых склонов и обрушения их в реку. Это дало бы возможность использовать удаленные расширения горных долин, замыкаемые ущельями, непригодными по своим естественным особенностям для строительства плотин обычных инженерных типов, привело бы к резкому снижению капитальных затрат по сооружению плотин, к значительному сокращению сроков их строительства, к облегчению развития гидроэнергетики в горных районах Северного и Западного Кавказа.

Эта рекомендация основана на изучении природных условий естественных водохранилищ — крупных горных озер Западного Кавказа завального происхождения.

Имеются основания полагать, что применение метода завала для строительства плотин может дать хорошие результаты, если разработке этого метода уделить достаточно внимания и предварительно детально изучить его путем составления типовых проектов для характерных по естественным условиям объектов и на ряде опытов. Это подтверждается тем, что завалами образованы глубочайшие долинныя горные озера, как, например, Сарезское озеро (Памир) глубиной около 500 м, озера Амтхел и Рица (Кавказ) с глубинами 100—200 м и др.

С целью изучения условий устройства искусственных завальных озер — водохранилищ — летом 1946 г. нами было обследовано типичное завальное озеро Амтхел (Азанта) на р. Амтхел, притоке Кодори, изучена литература по ряду завальных озер Средней Азии и выяснена примерная стоимость устройства мощных завалов, при помощи применения взрывчатых веществ. Летом 1947 г. было осмотрено озеро Рица на р. Лашипсе (бассейн р. Бзыби) и продолжены работы по изучению оз. Амтхел.

Рекогносцировочные исследования установили, что крупнейшие завальные озера Кавказа — Амтхел и Рица, так же как и озера Средней Азии — Сарезское и Яшил-Куль на Памире, Сары-Чилек в Чаткальских горах, Джасыл-Куль в Джунгарском Алатау, Искандер-Куль, Маргузар и Нофин в Гиссарском хребте, Кара-Куль-Катта в Туркестанском хребте и многие другие, образованы мощными обвалами горных склонов и могут дать достаточный материал для детального изучения поставленной проблемы. Этому должны также способствовать исследования участков речных долин с сохранившимися следами озер аналогичного типа (Актопракская котловина на р. Чегем с завалом у с. Гудурдю, Даргавская котловина на р. Гизельдон с завалом в урочище Пурт — на Северном Кавказе и др.), исчезнувших по каким-либо причинам. Наиболее крупные из известных завалов, служащие естественными плотинами крупнейших горных озер, достигают многих сотен метров по высоте. Так, например, Усойский завал, перегородивший в 1911 г. р. Мургаб, имеет высоту 740 м. Образовавшееся в результате завала Сарезское озеро имеет длину 75 км и площадь 50 км².

В условиях Памира и Алая обвалы наиболее часты в долинах, склоны которых сложены пестроцветными толщами верхнего мела (песчаники, глины, гипсы), Усойский завал образовался в результате

очень мощного обвала коренных глинисто-кремнистых сланцев; естественные плотины на р. Шинк (озера Маргузар, Хурдак, Нофин, Соя, Нежигон) образованы обвалами сильно дислоцированных известняковых скал.

Крупнейшие существующие завальные озера Кавказа (Амтхел, Рица), а также древние, исчезнувшие озера на р. Чегем (у с. Гудургю-Актопрак) и на р. Гизельдон (в урочище Пурт) своим происхождением были обязаны также обвалам коренных известняков.

Таким образом, известные завалы, создавшие наиболее крупные горные озера, состоят из самых разнообразных горных пород осадочного происхождения, часто считающихся непригодными для сооружения плотин, принятых в инженерном искусстве.

Характерны два основных типа условий работы естественных завалов как подпорных сооружений и связанного с этим водного режима завальных озер:

I тип — водонепроницаемый завал и поверхностный сток из озера;

II тип — водопроницаемый завал и подземный сток из озера.

Представителем первого типа завальных озер на Западном Кавказе может быть названо оз. Рица, основной сток из которого происходит по открытому руслу р. Юпшара (хотя и здесь существует некоторая фильтрация через завал).

Ко второму типу завальных озер принадлежит обследованное экспедицией оз. Амтхел.

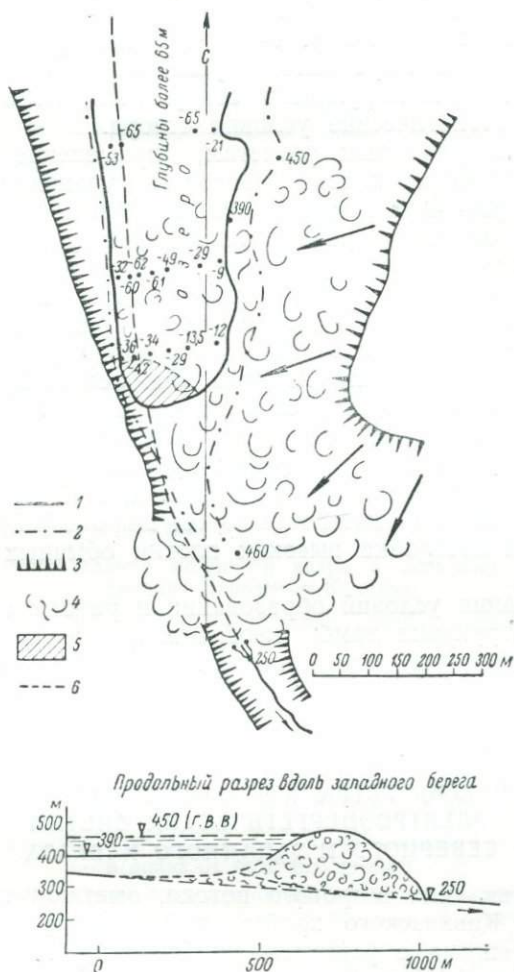
Оз. Амтхел (Азанта) имеет длину около 2 км, ширину до 0,5 км и максимальную глубину более 125 м, оно образовалось в конце XIX столетия, в результате мощного обвала скал маастрихтских и датских известняков, запрудившего р. Амтхел, приток р. Кодори (фиг. 23). Обвалу способствовали глубокое каньонообразное ущелье и условия залегания пород: датские известняки здесь слагают ядро синклинали, с осью на левом склоне, наклоненной к реке. Небольшого толчка было, по видимому, достаточно для обвала по плоскостям напластования масс трещиноватых тонкослоистых известняков объемом 5—6 млн. м³. Уположенный в результате обвала восточный склон чаши озера усеян крупными глыбами известняков, оторвавшихся от вышележащего карниза. Поросшая лесом поверхность обвала, чрезвычайно хаотичная и труднопроходимая, возвышается над максимальным горизонтом воды озера на 20—30 м. Масса завала с напорной (смоченной) стороны покрыта толстым слоем выносимых рекой илстых отложений, прочно закольматиrowанных откос.

В южном конце озера завал имеет одно или несколько отверстий — воронок стока, через которые происходит вытекание воды из озера и просачивание ее через массу завала. При осмотре озера 26 сентября 1946 г., когда горизонт воды стоял на 40—50 м ниже максимального (весеннего) уровня, отверстия еще были закрыты водой. Место расположения отверстий было отмечено водоворотами и гулом уходящей в них воды. Годичное колебание горизонта воды в озере составляет 50—60 м, причем минимум соответствует поздней осени, а максимум имеет место в январе — марте.

В периоды максимума вода почти достигает вершины наиболее низкой части завала, но все же не переливается через него.

Воды, фильтрующиеся через завал, проходят под последним на протяжении около 0,5—0,7 км, освещаются и выходят у его подошвы в старом русле р. Амтхел в виде мощных чистых родников. Ниже выхода вод из-под тела завала они стекают по руслу р. Амтхел,

а затем снова скрываются в карстовых провалах и на протяжении ряда километров текут под землей. Расход воды в родниках довольно постоянен в году (1,0—2,5 м³/сек). Таким образом, оз. Амтхел оказывает большое регулирующее влияние на сток реки, имеющей выше него значительно менее постоянный режим. Промеры глубин озера показали



Фиг. 23. Завальное озеро Амтхел:

1 — горизонт воды 26/IX 1946 г.; 2 — горизонт высоких вод; 3 — карниз датских известняков; 4 — тело завала; 5 — вероятная область воронок стока; 6 — русло реки.
Условные отметки в м.

увеличение их с востока к западу и (до некоторого предела) с юга к северу. При максимальной измеренной глубине 115 м (считая от высшего горизонта воды), лот во многих точках не достал дна. Высота завала над тальвегом р. Амтхел у основания нижнего (сухого) откоса превышает 200 м. Промеры глубин, исполненные нами 26 сентября 1946 г., и карта крупного масштаба позволяют составить приближенный поперечный профиль завала (фиг. 21), который показывает, что тело завала по основанию имеет ширину около 1 км, крутизна его откосов —

верхнего (смоченного) около 1:3, нижнего (сухого) — около 1:1,5, а ширина завала по верху 180—200 м.

Известняки датского и маастрихтского ярусов, слагающие ущелье р. Амтхел и тело завала, легко растворимы и склонны к карстообразованию, что, вероятно, ускорило и облегчило образование воронок стока и путей фильтрации через тело завала, являющихся своего рода естественными донными водосбросами.

Таким образом, завал на р. Амтхел может рассматриваться как одна из высочайших в мире плотин, успешно в течение полустолетия выполняющая роль регулирующего сооружения, несмотря на весьма неблагоприятные геологические условия створа.

Согласно ориентировочным расчетам, применение метода завала при сооружении высоких плотин могло бы удешевить их строительство в несколько раз. Для примера можно указать, что постройка плотины, высотой и объемом равной Амтхельскому завалу, обычными методами обошлась бы в 400—500 млн. руб. и заняла бы 8—10 лет. Применение метода завала и использование взрывчатых веществ для направленных взрывов в этом случае ограничило бы расходы 50—60 млн. руб.,¹ а сроки строительства одним строительным сезоном.

Применение метода завала явилось бы особо эффективным при сооружении регулирующих плотин в удаленных горных районах. Оно позволило бы также широко применять дешевые плотины и фильтрующие дамбы на горных реках и на их притоках с целью задержания наносов, для срезки паводковых пиков и т. д. При помощи таких плотин и фильтрующих дамб можно было бы широко регулировать малые реки, на которых постройка высоких плотин обычных типов экономически невыгодна.

Для исследования условий образования и работы завалов как плотин и как фильтрующих дамб, необходима постановка тщательного стационарного изучения ряда естественных завалов: Амтхел, Рица, Сарезского и некоторых других.

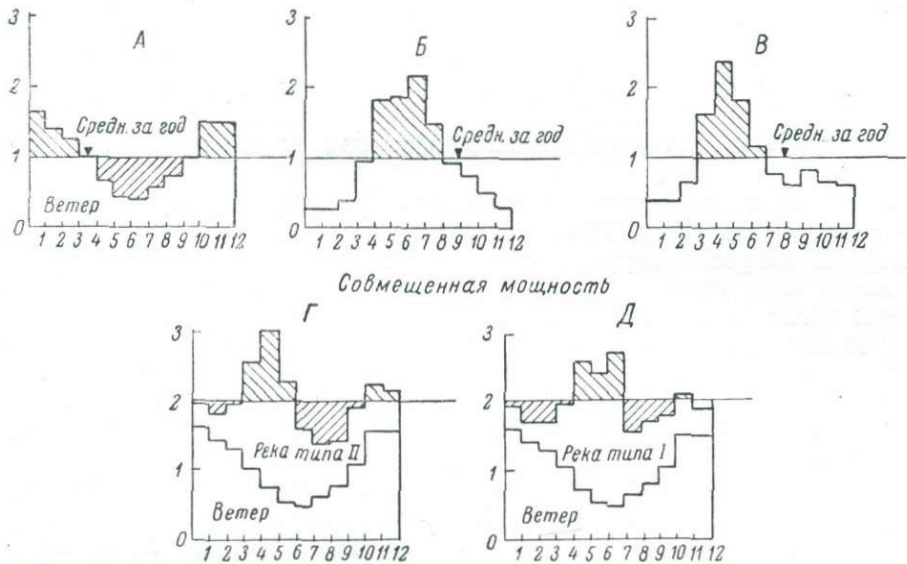
Глава 6

ЭНЕРГИЯ ВЕТРА КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЕВЕРНОГО И ЗАПАДНОГО КAVКАЗА

Исключительная сила ветрового потока, сметающего гребни западной оконечности Кавказского хребта, и благоприятное сочетание его внутригодового режима с режимом наиболее крупных рек Западного Кавказа типов I и II (фиг. 24) позволяют использовать энергию ветра не только для регулирования мощных гидроэлектрических станций, но и для значительного увеличения их отдачи. Для выявления условий, значения и эффективности совместного использования энергии рек и ветра на Западном Кавказе и ориентировочных технико-экономических и энергетических показателей гидро-ветроэнергетических систем нами было проведено исследование вопроса о возможных перспективах совместного использования энергии горных рек и ветра на примере каскада ГЭС на горной реке типа II — р. Белая (приток Кубани) с энергией ветра Маркотхского хребта (у г. Новороссийска). Расчеты показали, что обеспеченная мощность ГЭС Белореченского каскада

¹ Полная стоимость укладки камня в тело плотины при помощи мощных взрывов новейшими взрывчатыми веществами, по предварительным данным, принята в 5—6 руб. на 1 м³ тела плотины.

может быть резко увеличена при параллельной работе их с ВЭС, сравнительно с принятой Гидроэнергопроектом схемой изолированной (без участия ветра) их работы, без увеличения удельных капитальных вложений на единицу полезной мощности гидроэлектростанций и на 1 квтч годовой отдачи системы.¹



Фиг. 24. Сезонное распределение мощности ветра и типичных рек высокогорного питания Западного Кавказа:

А — ветер западной оконечности Кавказского хребта — Маркотхский перевал:

$$\beta_{г.р} = 0,10, \alpha_э = 0,42, (K)_{мес} = 4,5.$$

Б — река с преобладающим высокогорным питанием (тип I) — р. Ингури: $\beta_{г.р} = 0,29,$

$$\alpha_э = 0,24, (K)_{мес} = 6,9.$$

В — река смешанного питания (тип II) — р. Белая: $\beta_{г.р} = 0,27, \alpha_э = 0,37, (K)_{мес} = 6,0.$

$$\Gamma — \beta_{г.р} = 0,17, \alpha_э = 0,68, (K)_{мес} = 4,3.$$

$$Д — \beta_{г.р} = 0,13, \alpha_э = 0,78, (K)_{мес} = 3,5.$$

$\beta_{г.р}$ — показатель годичного регулирования (необходимый регулирующий объем в долях от годового стока);

$\alpha_э$ — показатель энергетической полноценности (отдача по гарантированной незарегулированной мощности в долях от годовой отдачи);

$(K)_{мес}$ — суммарный месячный показатель сезонности (сумма абсолютных значений отклонений месячных модульных коэффициентов от единицы).

При совмещении мощности $\beta_{г.р}$ и $(K)_{мес}$ уменьшаются, а $\alpha_э$ возрастает, что указывает на выгодность объединения энергии рек I и II типов с энергией ветра.

В каскаде ГЭС на р. Белой две верхние гидроэлектростанции (Хамышинская и Даховская ГЭС) расположены на высоте, превышающей отметку устья р. Белой соответственно на 584 и 440 м. Перед плотинами обеих ГЭС могут быть созданы крупные регулирующие водохранилища. Бытовой сток реки имеет максимум в апреле — июне и минимум в зимние месяцы. Скорости ветра на Маркотхском хребте у Новороссийска, наоборот, имеют максимум в январе и минимум в июне — августе.

¹ В основу приведенных далее выводов положены расчеты проф. Н. В. Красовского, привлеченного к разработке предложенной нами схемы совместного использования энергии ветра Маркотхского хребта и р. Белой.

Поэтому представляет большой интерес изучение перспектив параллельной работы как Хамышинской и Даховской ГЭС, так и всего каскада ГЭС на р. Белой с ветроэлектрическими установками (ВЭС), использующими энергию ветра в Новороссийском районе.

Среднегодовая потенциальная мощность всего каскада Белореченских ГЭС в маловодный год без регулирования составляет 128 тыс. квт. Наибольшая средняя месячная мощность по водотoku достигает 392,9 тыс. квт и имеет место в мае.

При дальнейших ориентировочных расчетах принят вариант по «Плановому заданию гидроэнергетического использования р. Белой» [30], разработка которого производилась при нашем участии и руководстве.

Материалы по схеме использования р. Белой, разработанной за последние годы ТнисГЭИ (проф. Терхачатуровым), в которой рассмотрены вопросы сооружения гидростанций высокой обеспеченности, не могли быть учтены в данном исследовании, так как они были оформлены после окончания нами работ по данной теме.

Так как при рассмотрении условий совместного использования энергии ветра и стока р. Белой схема каскада Белореченских ГЭС принята в самом общем виде, возможные изменения в параметрах отдельных ГЭС не окажут существенного влияния на результаты проведенных расчетов.

Перед плотиной Хамышинской ГЭС запроектировано водохранилище с полезным объемом в 435 млн. м³, позволяющее использовать на этой ГЭС напор H_{cp} — 132,7 м. От устья р. Белой створ Хамышинской ГЭС расположен на расстоянии 193 км. Средний уровень водохранилища Хамышинской ГЭС на 584,2 м превышает уровень устья р. Белой.

Следующей ступенью является Даховская ГЭС, створ плотины которой расположен на расстоянии 188 км от устья р. Белой. По данным, требующим дальнейших уточнений, перед плотиной этой ГЭС, повидимому, также возможно устройство водохранилища с полезной емкостью около 450 млн. м³ и с отметкой верхнего бьефа, превышающей отметку устья р. Белой на 440 м. На всех последующих ступенях каскада ГЭС на р. Белой регулирующих водоемов перед плотинами ГЭС не предусмотрено.

Наличие указанных водохранилищ позволяет зарегулировать сток Хамышинской ГЭС и гидростанций всего каскада, причем регулирование стока обеспечивает работу установленной мощности Хамышинской ГЭС в течение 6640 час. в году.

При величине капитальных затрат на 1 квтч среднегодовой отдачи 1 р. 16 к., имеем стоимость установленного киловатта Хамышинской ГЭС 7300 руб.¹ Далее условно принято, что стоимость установленного киловатта складывается из 6300 руб. — стоимости плотины и 1000 руб. — стоимости водяной турбины и электрической части с монтажом и зданием.

Для всего каскада ГЭС с установленной мощностью 210,2 тыс. квт и с годовой отдачей 1174,4 тыс. квтч, регулирование стока обеспечивает работу ГЭС в течение 5460 час., что при капитальных затратах на 1 квтч среднегодовой отдачи в 1 р. 10 к. соответствует капитальным затратам на один установленный киловатт мощности около 6000 руб.

При расчетах использования энергии ветра принят проект ветроэлектрической установки ЦВЭИ — Д-50 с башней высотой 50 м,

¹ Все стоимости даны по плановому заданию 1938 г. и приведены к ценам 1949 г.

скоростью вращения колеса 24 об/мин., и с механическим редуктором, утвержденный в 1935 г. Главэлектро. Вес машины 160 т.

Энергоэкономические показатели куста из десяти агрегатов этого типа установленной мощностью в 10 тыс. квт, подсчитанные для района со средней годовой скоростью ветра 8 м/сек, характеризуются выработкой 23,8 млн. квтч, годовым числом часов работы 4248, числом часов использования максимума 1024 и стоимостью одного установленного киловатта 1000 руб.

Режим ветра Новороссийского района изучается метеорологической станцией Маркотхский перевал, расположенной над г. Новороссийском, на высоте 435 м над уровнем моря. По данным многолетних наблюдений, средняя годовая скорость ветра на ст. Маркотхский перевал составляет 9,4 м/сек, при средних месячных скоростях в январе 12,9 м/сек, в феврале 10,8 м/сек, в марте 10,2 м/сек, в апреле 9,9 м/сек, в мае 8,3 м/сек, в июне 7,0 м/сек, в июле 7,2 м/сек, в августе 7,5 м/сек, в сентябре 8,4 м/сек, в октябре 9,2 м/сек, в ноябре 10,2 м/сек, в декабре 11,5 м/сек.

В условиях Маркотхского перевала установка ЦВЭИ Д-50 с полной мощностью на клеммах генератора в 1000 квт будет работать 1478 час. в году.

Сравнительные расчеты показали, что наибольшая годовая выработка имеет место при скорости вращения колеса ветряного двигателя 22 об/мин.

Для расчетов приняты схематические суточные графики нагрузки, показанные в табл. 22 по часам суток в процентах от полной установленной мощности энергосистемы.

Таблица 22

Схема распределения нагрузок в течение года

Время года	Суточные графики нагрузки (в %)	
	8 час.	16 час.
Зима (XII, I, II)	60,0	85
Весна (III, IV, V) \	57,5	80
Осень (IX, X, XI) /		
Лето (VI, VII, VIII)	55,0	75

Кусты ветроэлектрических установок предполагаются включенными непосредственно в общую сеть с гидростанциями, причем при совместной работе принят следующий порядок использования отдельных видов энергии для удовлетворения твердого графика нагрузки системы:

В первую очередь используется энергия ветра для работы непосредственно в сеть.

Во вторую очередь используется энергия реки по графику водотока.

В третью очередь в периоды безветрия и слабых скоростей ветра используется энергия аккумулированного, при помощи энергии ветра, или зарегулированного, путем задержания воды в водоемах перед плотинами.

Избыточная энергия больших скоростей ветра расходуется в первую очередь для зарядки гидроаккумулятора.

Энергетическая емкость полезного объема Хамышинского водохранилища составляет 132 млн. квтч. Расчет совместной работы ВЭС и Хамышинской ГЭС при использовании мощностей генераторов на ВЭС Д-50 до 1000 квт показывает, что энергетическая емкость водо-

хранилища достаточна, чтобы обеспечить отдачу по твердому графику нагрузки 70 агрегатов ВЭС Д-50.

В результате совместной работы ВЭС и ГЭС выработка энергосистемы с учетом энергии, израсходованной из регулирующего водоема, может быть увеличена в 1,23 раза. Учитывая принятые выше стоимости на один установленный киловатт ВЭС 1000 руб. плотины Хамышинской ГЭС в 6300 руб. и водяной турбины и электрической части с монтажом и зданием в 1000 руб., имеем ориентировочную стоимость на один установленный киловатт ГЭС энергосистемы 7100 руб., что соответствует затратам на 1 квтч годовой отдачи системы 1 р. 12 к. Это показывает, что стоимость энергии энергосистемы почти не увеличилась сравнительно со стоимостью при участии в ней только ГЭС. Если с целью обеспечения большего удельного веса энергии ВЭС в энергосистеме принять использование мощности ВЭС только до 500 квт, рабочую мощность гидроэлектростанций в системе можно поднять до 80 тыс. квт. В этом случае параллельно с ГЭС будет работать 160 агрегатов ВЭС Д-50 с установленной мощностью в каждом агрегате по 1000 квт, причем в результате совместной работы ВЭС с ГЭС можно увеличить выработку энергосистемы в 1,4 раза. Вместе с тем остается большое количество неиспользованной энергии ветра.

Капиталовложения, отнесенные на один установленный киловатт ГЭС энергосистемы, составят 7500 руб., а на 1 квтч годовой отдачи — 1 р. 18 к.

Расчет совместной работы Хамышинской и Даховской ГЭС с установленной мощностью ГЭС в 180 тыс. квт, при параллельной работе с 360 агрегатами ВЭС Д-50 с установленной мощностью на каждой из них в 1000 квт, проведен при условии, что для работы в сеть по твердому графику нагрузки мощность ВЭС на каждом агрегате используется до 500 квт. Мощность в пределах от 500 до 1000 квт используется для перекачки воды из водоема Даховской ГЭС в водоем Хамышинской ГЭС.

В результате совместной работы ВЭС и ГЭС можно в этом случае увеличить выработку энергосистемы, включая энергию, израсходованную из гидроаккумулятора, в 2,49 раза. С учетом принятых выше единичных стоимостей, затраты, отнесенные на один установленный киловатт ГЭС энергосистемы, составят 7420 руб., а на 1 квтч отдачи — 1 р. 17 к. Таким образом, стоимость одного полезного киловатта энергосистемы почти не увеличивается сравнительно со стоимостью изолированной работы только ГЭС.

В случае использования мощности ВЭС до 333 квт для удовлетворения принятого графика нагрузки, а мощности от 333 до 1000 квт только для перекачки воды из нижнего водоема в верхний, с целью обеспечения большего удельного веса энергии ВЭС в энергосистеме, можно повысить установленную мощность ГЭС энергосистемы до 400 тыс. квт. Параллельно с ГЭС в этом случае должны работать 1200 агрегатов ВЭС Д-50 с установленной мощностью 1200 тыс. квт. Совместная работа ВЭС с ГЭС в этом случае позволяет увеличить выработку энергосистемы в семь раз. Стоимость, отнесенная на один установленный киловатт ГЭС энергосистемы составит при этом около 7860 руб., а затраты на 1 квтч отдачи системы — 1 р. 25 к. Таким образом, и в этих условиях стоимость установленного киловатта мощности по энергосистеме увеличивается сравнительно со стоимостью только ГЭС лишь на 11,5%.

Рассмотрен также предельный вариант совместной работы ВЭС со всем каскадом ГЭС на р. Белой при непрерывной цепи приплотинных

установок и наличии нижнего водоема гидроаккумулятора на р. Кубани в устье р. Белой с полезным объемом в 885 млн. м³. Установленная мощность ГЭС на р. Белой условно принята в 2 млн. квт, а всех агрегатов ВЭС Д-50 в 6 млн. квт. Этот вариант, имеющий, разумеется, лишь теоретический интерес (как, впрочем, и некоторые варианты из числа рассмотренных выше), предусматривает полное использование всех скоростей ветра и всей водной энергии р. Белой. Для работы по твердому графику нагрузки мощность ВЭС в каждом агрегате используется до 333 квт, мощность же от 333 до 1000 квт используется для перекачки воды из нижнего бассейна гидроаккумулятора на р. Кубани в водоемы Даховской и Хамышинской ГЭС.

При превышении среднего уровня водохранилища Хамышинской ГЭС над устьем р. Белой на 584,2 м, удалении створа Хамышинской ГЭС от устья р. Белой на 193 км и среднем уклоне водоемов перед плотинами 0,00005, суммарная энергетическая емкость гидроаккумулятора составит около 1014 млн. квтч. В результате совместной работы ВЭС и ГЭС в этом случае можно было бы увеличить выработку энергосистемы в 11,2 раза.

Затраты, отнесенные на один установленный киловатт ГЭС энергосистемы, при этом составили бы 7445 руб., а на 1 квтч годовой отдачи— 1 р. 20 к.

Таким образом, в этом случае затраты на 1 квтч отдачи увеличиваются только на 11% сравнительно с затратами по каскаду ГЭС (1 р. 10 к./квтч) без участия энергии ветра.

Наибольший расход воды, который при осуществлении последнего варианта должен быть забран из нижнего водоема на р. Кубани во время больших скоростей ветра и передан в водоемы Даховской и Хамышинской ГЭС по всему каскаду в часы суток с наименьшим потреблением энергии по графику нагрузки, равен 708 м³/сек. Во время полного безветрия и при работе гидроаккумуляторов наибольший расход воды по р. Белой равен 422 м³/сек. Пропуск подобных расходов через все сооружения Белореченского каскада ГЭС вызвал бы значительные затруднения.

При дальнейшем изучении условий совместного использования энергии горных рек и ветра вопросу выбора расчетных расходов воды, а следовательно, и мощности должно быть уделено особое внимание. С целью обратимого использования сооружений, гидромеханического и электрического оборудования каскада при проектировании установок должны быть предусмотрены соответствующие конструкции.

Сводка данных для различных вариантов параллельной работы ГЭС на р. Белой с кустами Маркотхских ВЭС приведена в табл. 23.

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Так как принятый график нагрузки предусматривает годовое число часов работы установленной мощности 6360 час., а ВЭС работает примерно в течение 2000 час. в году, для удовлетворения твердого графика нагрузки необходима установка двойной и тройной суммарной мощности агрегатов ВЭС, сравнительно с суммарной мощностью ГЭС.

2. Принятый тип ВЭС ЦВЭИ Д-50 с мощностью генератора в 1000 квт для решения поставленной задачи не подходит, вследствие сравнительно маломощности. Для решения поставленной задачи целесообразно проработать тип более мощной ВЭС с диаметром колеса, например, 100 м и мощностью генератора 4000—5000 квт. Так как вопрос об устойчивости работы ВЭС в системе ГЭС соизмеримой мощности через

Характеристика совместной работы ГЭС на р. Белой и ВЭС на Маркотхском хребте (по данным расчетов Н. В. Красовского)

Наименование ГЭС	Условия работы	Установленная мощность ВЭС (в тыс. квт)	Установленная мощность ГЭС (в тыс. квт)	Выработка		Затраты на 1 квтч (руб.)
				(в млн. квтч)	кратность увеличения	
Хамышинская	ГЭС по водотoku	—	(56,8)	360,9	1,00	1,15
	Параллельная работа	70	70,0	445,0	1,23	1,12
	То же	160	80,0	509,4	1,40	1,18
Хамышинская и Даховская	ГЭС по водотoku	—	(70,0)	459,38	1,00	1,16
	Параллельная работа	360	180	1141,1	2,49	1,17
	То же	1200	400	2505,1	7,00	1,25
Весь каскад Белореченских	ГЭС по водотoku	—	(176)	1123,7	1,00	1,10
	Параллельная работа	6000	2000	12607,5	11,20	1,20

Примечание. Установленная мощность, приведенная в скобках, получена исходя из годовой выработки ГЭС в течение того же годового числа (6360) часов работы, что и ВЭС, согласно принятому графику нагрузки.

синхронный генератор остается еще нерешенным, ближайшей задачей является проектирование, постройка и испытание опытных агрегатов.

3. Совместная работа ГЭС на горной реке типа II, к которому относится р. Белая, и ВЭС на Маркотхском хребте способна значительно повысить эффективность использования энергии речного стока и создать мощную, хорошо зарегулированную гидро-ветро-энергетическую систему без увеличения удельной стоимости на 1 квтч отдачи. К недостаткам такой системы следует отнести невысокое число годового использования суммарной установленной мощности, а к преимуществам — возможность постепенного наращивания мощности системы путем последовательного сооружения новых и новых ВЭС, при полной их стандартизации.

4. Сооружение на гребне Маркотхского хребта серий мощных ВЭС окажет умеряющее действие на ураганные северо-восточные ветры (бора), ежегодно приносящие огромные бедствия Новороссийску и затрудняющие судоходство. При дальнейшем изучении проблемы использования энергии ветра на Маркотхском хребте следует провести исследования с целью выбора наилучшей схемы, путем моделирования передела и прудовки модели.

Для недельно-суточного регулирования энергии Маркотхских ВЭС возможно сооружение небольшой гидро-ветро-аккумулирующей установки с верхним резервуаром емкостью 1,5—2,0 млн. квтч в чаше оз. Абрау-Дюрсо, расположенного на 84 м выше уровня моря и в 2 км от берега моря, которое могло бы служить нижним резервуаром аккумулятора. Такое использование чаши оз. Абрау-Дюрсо возможно, однако, лишь при условии переустройства системы водоснабжения совхоза Абрау-Дюрсо.

При всей выгоды совместного использования энергии р. Белой с энергией ветра Маркотхского хребта возможность осуществления одного из вариантов приведенной схемы может явиться, повидимому, делом далекого будущего.

Более реально сооружение малых ветросиловых установок, работающих совместно с ГЭС на реках Северного и Западного Кавказа.

В частности, представляется необходимым исследовать целесообразность сооружения гидро-ветро-аккумулирующих установок на правом берегу Кубани в районе Ладожская — Кропоткин. Эти установки (возможно с механическим приводом) дали бы возможность снабжать кубанской водой районы засушливого Приазовья, причем часть энергии поднятой воды могла бы быть использована в руслах рек Бейсуг и Кирпили.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Наряду с выявлением особенностей гидроэнергетических ресурсов Северного и Западного Кавказа и условий их использования для создания надежной гидроэнергетической базы народного хозяйства, проведенные исследования позволили поставить и частично решить ряд принципиальных и практических вопросов, касающихся:

- а) методов характеристики и оценки ресурсов энергии горных рек;
- б) принципов последовательной (по-этапной) схемы развития гидроэнергетики, по мере роста электрических нагрузок, в районах типа Северного и Западного Кавказа;
- в) условий и эффективности объединения ГЭС на незарегулированных реках разного режима с целью сезонного выравнивания их мощности;
- г) принципиальных схем и эффективности сезонных регуляторов средней мощности, использующих чаши каровых озер, малый высокогорный сток и высокие напоры;
- д) эффективности устройства мощных гидроэлектрических районных регуляторов (ГЭРР) на базе крупных долинных водохранилищ, допускающих перерегулирование стока;
- е) эффективности межрайонного объединения кавказских электросистем между собою и с южно-русскими электросистемами на базе мощных ГЭРР;
- ж) применения искусственных завалов при строительстве регулирующих плотин на горных реках;
- з) эффективности использования энергии ветра для регулирования мощных гидроэлектрических станций.

Проведенные работы позволяют сделать следующие заключения:

1. Северный и Западный Кавказ, как известно, является одним из наиболее насыщенных гидроэнергетическими ресурсами районов СССР, при ограниченности выявленных запасов твердого энергетического топлива. Распределение водной энергии на территории Северного и Западного Кавказа, однако, крайне неравномерно: в бассейнах горных рек Ингури, Кодори, Бзыби имеет место почти предельная для СССР насыщенность водной энергией — до 500 квт/км² (по русловой мощности только основных рек бассейнов), тогда как в районах степного Предкавказья она едва достигает 0,1—0,5 квт/км². Средняя насыщенность территории водной энергией по русловой мощности составляет около 100 квт/км².

Наибольшую часть энергии Северного и Западного Кавказа (более 60%) дают реки с преобладанием высокогорного (ледникового) питания и реки смешанного питания (30%). Горные реки атмосферного питания дают около 9% энергии, а степные реки предгорий и грунтовые источники — не более 1%.

2. Современное развитие энергетики на Северном и Западном Кавказе не соответствует потенциальным возможностям отдельных видов энергетических ресурсов: несколько ГЭС небольшой и средней мощности, действующих на реках Северного и Западного Кавказа, используют менее 1% потенциальных ресурсов энергии, отличаются непостоянством мощности и не обеспечивают покрытия электронагрузок. Энергоснабжение народного хозяйства производится в основном за счет тепловых электростанций на жидком топливе или на привозном каменном угле. В районе, насыщенном гидроэнергетическими ресурсами, такое положение нестерпимо и должно быть резко изменено при дальнейшем развитии электроэнергетических систем.

Несколько новых ГЭС небольшой и средней мощности, сооружаемых на реках Северного и Западного Кавказа, строятся крайне медленно, будут иметь непостоянную в году мощность (при среднем соотношении гарантированной и установленной мощностей около 1 : 4,5) и также обеспечат покрытие лишь малой части электронагрузок. Дальнейшее развитие энергетической базы нередко планируется за счет новых тепловых установок.

3. Основные причины несоответствия между потенциальными энергетическими ресурсами и их использованием заключаются в слабой естественной зарегулированности рек, в трудности создания регулирующих водохранилищ, в неоправданной затяжке сроков строительства даже простейших по своим схемам ГЭС. Недостаток внимания делу развития гидроэнергетики на Северном и Западном Кавказе характеризуется хотя бы отсутствием обоснованных схем использования энергии крупнейших по потенциальным возможностям рек: Ингури, Кодори, Бзыби, Кубани и ряда их притоков, в том числе крупнейшего притока Кубани—р. Лабы, большей части рек бассейна Терека и значительной части течения рек Сулакского бассейна. Следует отметить, что на реках Закавказья, в условиях, близких к изучаемым районам, развитие гидроэнергетики проводится значительно более энергично.

4. Материалы исследований позволяют утверждать, что не только любой уровень местного электропотребления на Северном и Западном Кавказе может быть покрыт за счет использования местных ресурсов водной энергии, но что, кроме того, мощные потоки зарегулированной энергии от ГЭС на реках Северного и Западного Кавказа могут быть направлены в смежные районы страны, при условии правильного сочетания ГЭС различных типов и применения схемы развития гидроэнергетики, основанной не только на количественном увеличении вводимых мощностей, но и на значительном изменении их роли и качества по мере строительства новых ГЭС.

5. Выдвигаемая в результате исследований схема развития гидроэнергетики в районах типа Северного и Западного Кавказа предлагает обеспечивать низкий уровень электропотребления изолированными (пионерными) ГЭС высокой обеспеченности небольших мощностей. Последующее объединение таких ГЭС на реках с различным режимом стока (там, где это возможно) в местные электросистемы позволит только за счет их взаимной связи значительно (иногда в 2,5—3 раза) увеличить их обеспеченную мощность и послужит фактором дальнейшего развития электропотребления.

При среднем уровне электронагрузок — до определенного предела, в зависимости от характера используемого водотока, главная роль еще может принадлежать ГЭС высокой обеспеченности и регулирующим ГЭС высокой обеспеченности на естественном стоке рек с различным гидрологическим режимом, однако выше этого предела оказывается необходи-

мым создание местных регулирующих ГЭС с водохранилищами сезонного регулирования. Такими установками могут иногда служить ГЭС, использующие чаши высокогорных (каровых) озер с применением частичного сезонного гидроаккумулирования.

Высокий уровень электронагрузок не может быть покрыт установками без крупных регулирующих сезонных водохранилищ, так как удельная гарантированная мощность лишь немногих участков рек Северного и Западного Кавказа превышает 1—2 тыс. квт на 1 пог. км дери-вации, и для сооружения ГЭС высокой обеспеченности мощностью, например, в 100 тыс. квт потребовалось бы проведение тоннелей длиной 50—100 км и более.

Трудности, связанные с устройством крупных водохранилищ на реках Кавказа, редко имеющих благоприятные для этой цели участки долин, указывают на целесообразность предельного использования тех немногих расширений долин, в которых является возможным устройство водохранилищ большей полезной емкости.

Основой развития гидроэнергетики для высокого уровня электронагрузок должны явиться ГЭРР (гидроэлектрические районные регуляторы), на базе особо крупных водохранилищ, способных не только зарегулировать полностью годовой сток реки, но и перерегулировать его. ГЭРР должны работать по регулируемому графику для электрически объединенных с ними ГЭС на реках, не имеющих водохранилищ. Ввод ГЭРР допускает значительное (в условиях ледниковых рек, в два-три раза) повышение установленной мощности ГЭС высокой обеспеченности, работающих с ним в системе, а также позволяет строительство новых незарегулированных ГЭС невысокой обеспеченности.

6. Значительное повышение эффективности ГЭРР может быть достигнуто при совместном использовании рек различного гидрологического режима. Районы Северного и Западного Кавказа обладают благоприятными в этом отношении условиями. При некоторых сочетаниях рек эффективность ГЭРР может быть повышена в три-четыре и даже в шесть раз только за счет взаимной электрической связи гидростанций на реках различного питания.

Фактор разнородности гидрологического режима рек представляется важным и с точки зрения дальнейшего развития южных электросистем. Так, при совместном энергетическом использовании стока Волги и Дона и ледниковых рек Кавказа может быть значительно повышена энергетическая эффективность установок на этих реках.

7. Сооружение ГЭРР представляется также важным для многолетнего регулирования энергии ГЭС, в тех случаях, когда такое регулирование приобретает существенное значение.

8. Значительный регулирующий эффект для ГЭС на реках Западного Кавказа может быть получен при использовании энергии ветра на гребне Маркотхского хребта, где средние годовые скорости ветра достигают в некоторые годы 10 м/сек, при сезонном распределении мощности обратном сезонному распределению мощностей ледниковых рек.

Совместное использование энергии горной реки с участием высокогорного питания и энергии ветра с максимальными скоростями зимой позволяет многократно увеличивать полезную отдачу установок без повышения удельной стоимости электроэнергии.

9. Исследования твердого стока горных рек (бассейны Терека и Сулака)¹ позволили впервые установить количественные связи между

¹ См. статью А. С. Клоповой «Твердый сток некоторых рек Большого Кавказа», напечатанную в настоящем сборнике.

комплексом природных условий бассейнов и эрозией их поверхности, при помощи специально разработанного метода относительной оценки. Установленная прямая количественная зависимость модуля эрозии бассейна от русловой энергии реки позволяет приближенно оценивать перспективы заиления водохранилищ, по данным о потенциальной мощности реки.

10. Приближенные технико-экономические расчеты по типичным ГЭС в условиях Северного и Западного Кавказа показали, что стоимость сооружений ГЭС, отнесенная на 1 квтч годовой отдачи в ценах 1950 г., в средних условиях составляет: для ГЭС без регулирующих водохранилищ 1—1,5 руб., для озерных ГЭС и ГАЭС 1,25—1,6 руб., для ГЭРР 1,5—2 руб. Затраты по ГЭС на устьевых участках высокогорных рек могут быть значительно менее 1 руб./квтч.

Себестоимость энергии тепловых электростанций в районах Северного и Западного Кавказа в несколько раз выше, чем себестоимость энергии ГЭС всех перечисленных типов.

11. Изложенные выше принципы развития гидроэнергетики полностью применимы для районов Северного и Западного Кавказа.

Современное развитие электронагрузок в различных районах Северного и Западного Кавказа колеблется от небольшого до среднего уровня, но в ближайшие пятилетия нагрузки достигнут здесь высокого уровня. Потребности в электроэнергии районов Северного и Западного Кавказа в ближайшие годы могут быть покрыты ГЭС высокой обеспеченности и местными регулирующими ГЭС различных типов мощностей. В частности, могут быть сооружены регулирующие установки на сбросе стока из бассейна Кубани в бассейн р. Туапсе для Краснодарской системы, а также озерные ГЭС Адуада-Адзышь для Западно-Грузинской секции Грузинской электросистемы и Сылтранская ГЭС для Баксанской системы. Дальнейшее развитие энергоснабжения следует проводить за счет объединения разрозненных энергетических узлов на базе мощных ГЭРР, использующих благоприятные естественные условия некоторых долин для устройства крупных водохранилищ (например, Хамышинского и Загеданского расширений в бассейне Кубани, Зароманского и Эльхотовского в бассейне Терека, Ирганайского в бассейне Сулака и т. д.).

При помощи этих ГЭРР могут быть созданы и полностью зарегулированы мощные гидроэлектросистемы в различных районах Северного и Западного Кавказа.

Привлечение энергии ветра способно в дальнейшем в несколько раз увеличить отдачу ГЭС.

Мощность объединенной электросистемы Северного и Западного Кавказа окажется достаточной не только для полного покрытия местных потребностей в энергии, но и для передачи ее в смежные районы страны, бедные водной энергией. ГЭРР Кубанского бассейна при этом должны явиться связующим звеном для объединения кавказских и южно-русских электросистем на западе, а ГЭРР в бассейне Сулака и Терека — на востоке.

12. Дальнейшее изучение гидроэнергетических ресурсов Северного и Западного Кавказа необходимо вести с полным учетом важности значения их использования для развития богатейших южных районов СССР.

Исследования должны быть направлены на уточнение принципиальных схем использования рек Северного и Западного Кавказа и выявление технико-экономических показателей характерных установок. Вместе с тем является необходимым продолжение начатой разработки методики расчетов регулирования на типичных примерах.

Необходимо также исследовать все возможные пути удешевления и ускорения строительства ГЭС в горных условиях. Одним из этих путей может явиться, предложенное в результате исследований горных озер завального происхождения, применение искусственных завалов при строительстве регулирующих плотин и фильтрующих регулирующих дамб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас энергетических ресурсов СССР. Госэнергоиздат, 1933 г.
2. Водно-энергетическая схема Северного Кавказа, рукопись, 1935 г. Ростовское отделение Гидроэлектропроекта, фонды Гидроэнергопроекта.
3. Водно-энергетическая схема Закавказья, рукопись 1935 г. Закавказское отделение Гидроэлектропроекта, фонды Гидроэнергопроекта.
4. Григорович Н. А. Гидроэнергетический кадастр. Гидроэнергопроект, 1937 г.
5. Дайдбеков С. Г. и Рустамов С. Г. Методология определения водносилевого кадастра. Тр. Энергетического ин-та им. И. Г. Есьмана АН АзССР, т. VIII, Баку, 1947 г.
6. Зайков Б. Д. Средний сток и его распределение в году на территории Кавказа. Гидрометеоздат, 1946 г.
7. Захарин А. Г. Использование местных энергетических ресурсов для электрификации степных районов Краснодарского края. Расширенные тезисы доклада. Совещание по развитию производительных сил сельского хозяйства в предгорных районах Северо-Западного Кавказа, изд. АН СССР, 1948 г.
8. Караулов Н. А. К вопросу об использовании водной энергии высокогорных районов. Изв. НИИГ, т. V, 1932 г.
9. Клопов С. В. Использование энергии малых рек Кавказа. Плановое хозяйство, 1940 г., № 4.
10. Клопов С. В. и Клопова А. С. Гидроэнергетические ресурсы Кабардинской АССР и пути их использования. В кн. «Природные ресурсы Кабардинской АССР», изд. АН СССР, 1946 г.
11. Клопов С. В. Условия развития гидроэнергетики Западного Кавказа. Расширенные тезисы доклада в книге «Совещание по развитию производительных сил сельского хозяйства в предгорных районах Северо-Западного Кавказа». Изд. АН СССР, 1948 г.
12. Клопов С. В. Гидроэнергетические ресурсы Адлерского и Лазаревского районов Краснодарского края и их возможное использование в сельском хозяйстве. Научно-технический отчет гидроэнергетического отряда Черноморской комплексной экспедиции Совета по изучению производительных сил АН СССР, рукопись 1948 г., фонды СОПС АН СССР.
13. Клопов С. В. Некоторые вопросы развития энергетики горных районов. Гидротехнич. строительство, 1948 г., № 3.
14. Клопов С. В. О сооружении регулирующих плотин на горных реках методом завала. Изв. АН СССР, отд. техн. наук, 1949 г., № 10.
15. Клопов С. В. Направления и принципиальные схемы развития энергетики Западного Кавказа. Основные итоги и выводы исследований энергетического отряда Кавказской комплексной экспедиции Совета по изучению производительных сил за 1945—1948 гг., рукопись 1949 г., фонды СОПС АН СССР.
16. Клопов С. В. Зональные особенности ресурсов горных рек и их учета. Докл. АН СССР, т. XLVIII, 1949 г., № 3.
17. Клопов С. В. Энергетические ресурсы Туапсинского и Геленджикского районов Краснодарского края и условия их использования. Научно-технический отчет гидроэнергетического отряда Черноморской комплексной экспедиции Совета по изучению производительных сил АН СССР, рукопись 1949 г., фонды СОПС АН СССР.
18. Клопов С. В. Методика приближенной оценки потенциальной мощности гидроэнергетических ресурсов малых рек. Изв. АН СССР, отд. техн. наук, 1949 г., № 3.
19. Клопов С. В. Изучение и использование гидроэнергетических ресурсов горных районов, изд. АН СССР, 1952 г.
20. Клопов С. В. Оценка энергии речного стока и энергетическая эффективность районных гидроэлектрических регуляторов. Изв. АН СССР, ОТН, 1951 г., № 5.
21. Клопов С. В. Гидроэнергетические ресурсы Северного и Западного Кавказа и

- условия их использования для развития народного хозяйства, рукопись 1950 г., фонды СОПС АН СССР.
22. Клопов С. В. и Клопова А. С. Гидроэнергетические ресурсы Северо-Осетинской АССР и их использование. В книге «Природные ресурсы Северо-Осетинской АССР», изд. АН СССР, 1950 г.
 23. Крупная гидроэнергетика Грузинской ССР, ЭНИН АН ГрузССР, рукопись 1948 г., фонды Энергетического ин-та АН СССР.
 24. Лавров А. В. Терско-Ардонская гидроэнергетическая проблема, Ростов-Дон, 1932 г.
 25. Львович М. И. Опыт классификации рек СССР. Тр. Гос. гидролог. ин-та, вып. 6, 1938 г.
 26. Материалы по режиму рек СССР (водный кадастр СССР), т. 1, вып. 5, Бассейн Каспийского моря, реки Кавказа, М.—Л., 1940 г.
 27. Мостков М. А. Об исчислении запасов гидравлической энергии 1950 г. Изв. АН СССР, отд. техн. наук, 1950 г., № 6.
 28. Научно-технический отчет энергетического отряда Кавказской комплексной экспедиции СОПС АН СССР. Гидроэнергетические ресурсы Северного и Западного Кавказа и условия их использования для развития народного хозяйства, 1950 г. Рукопись, фонды СОПС АН СССР.
 29. Обзорная записка по каскаду Туапсинских ГЭС. Моск. отделение Гидроэнергопроекта, 1949 г., рукопись, фонды Гидроэнергопроекта.
 30. Плановое задание гидроэнергетического использования р. Белой, 1938 г., Гидроэнергопроект, фонды Гидроэнергопроекта.
 31. Сванидзе Г. Г. Элементы теории каскадного использования водотоков, 1950 г., автореферат, изд. АН ГрузССР.
 32. Сванидзе Г. Г. и Канчавели О. Г. Отчет комплексной экспедиции АН СССР и АН ГрузССР в Абх. АССР в 1947 г. Энергетический ин-т АН ГрузССР, 1948 г., рукопись, фонды Энергетического ин-та АН СССР.
 33. Справочник по водным ресурсам СССР. Т. X. Северный Кавказ, 1936 г.

Кандидат географических наук

А. С. КЛОПОВА

**ТВЕРДЫЙ СТОК НЕКОТОРЫХ РЕК
БОЛЬШОГО КАВКАЗА**

Сведения о распределении и величине стока наносов горных рек вообще, Северного и Западного Кавказа в частности, имеют чрезвычайно большое значение при решении ряда крупнейших народнохозяйственных задач: при выявлении схем использования энергетических ресурсов, при проектировании, строительстве и эксплуатации водохранилищ и ирригационных каналов, при осуществлении мероприятий по борьбе с разрушительной деятельностью селевых потоков, с эрозией почв и т. д.

Наличие значительных количеств наносов в реке затрудняет регулирование ее стока, вызывая необходимость создания, при сооружении водохранилищ, специальных емких «мертвых» объемов, рассчитанных на аккумуляцию твердого стока в течение всего периода амортизации гидротехнических сооружений, обычно многих десятков лет.

Примеры Гергебильского и Гизельдонского водохранилищ показывают, насколько быстро происходит заиление в условиях Северного Кавказа. Гергебильское водохранилище, с плотиной высотой около 50 м, полностью заполнено наносами реки Кара-Койсу (бассейн р. Сулак) за десять лет своего существования и потеряло свое регулирующее значение. Заиление Гизельдонского водохранилища с плотиной 16 м высотой произошло также в очень короткий срок.

Для точного определения количества наносов твердый сток рек Северного и Западного Кавказа имеет еще недостаточную изученность. Лучше всего изучены взвешенные наносы. Длительные стационарные исследования донных и растворенных в воде наносов проводились лишь в немногих створах нескольких рек.

Данные табл. 1 показывают, что насыщение рек наносами в бассейнах Терека и особенно Сулака и Самура значительно больше, чем в лесистом бассейне Кубани.¹

Недостаточность наблюдений по ряду рек Северного и Западного Кавказа не позволяет провести даже приближенную оценку твердого стока этих рек в нужных створах на базе непосредственных измерений и заставляет пользоваться для этого косвенными данными, получаемыми путем аналогий с изученными бассейнами и створами, причем надежной методики проведения таких аналогий пока не имеется.

С целью подробного изучения твердого стока рек Северного и Западного Кавказа, в бассейнах которых широко развиты процессы водной эрозии, и для получения обоснованной методики косвенной оценки величин твердого стока в неизученных створах рек, в связи с разработкой проблемы сезонного регулирования энергии рек, во время экспедицион-

¹ Следует, однако, иметь в виду, что для рек бассейна Кубани 1935 г. является маловодным (так же как и для некоторых рек бассейна Сулака), тогда как для бассейна Терека он близок к среднему.

ных работ Энергетического отряда Кавказской комплексной экспедиции СОПС АН СССР, автором были проведены полевые и значительные камеральные исследования условий формирования твердого стока рек бассейнов Терека и Сулака в зависимости от естественных факторов.

Таблица 1

Характеристика твердого стока (взвешенные наносы) рек
Северного Кавказа за 1935 г.
(по данным Гидрометслужбы)

Река, бассейн	Створ	Расход взвешенных наносов (в кг/сек)	Модуль эрозии по взвешенным т/км ² в год
Кубанский бассейн:			
Кубань	Краснодар	131,00	86
Учкулан	В. Учкулан	0,37	30
Уллукам	"	2,57	132
Али-Бердуковский			
М. Зеленчук	Али-Бердуковский	2,69	57
Б. Зеленчук	Исправная	6,29	98
Белая	Адабий	12,00	64
Пшиш	Хадыженская	1,99	75
Терский бассейн:			
Терек	Эльхотово	65,70	315
Ардон	Тамиск	8,19	248
Черек	Кашкатау	21,80	504
Баксан	Заяково	18,00	260
Каменно-мостское			
Малка	Каменно-мостское	8,90	175
Сунжа	Грозный	37,30	247
Аргун	Дуба-Юрт	139,00	1390
Сулакский бассейн:			
Андийское-Койсу	Чиркаты	167,00	1140
Аварское-Койсу	Балаханский мост	241,00	1040
Самурский бассейн:			
Самур	Ахты	81,70	1180

Примечания: 1. В таблице использованы данные за 1935 г., так как в этом году проводились наблюдения по наибольшему числу пунктов.

2. В настоящее время селение, в котором располагается створ Кашкатау, переименовано в Советское.

Эти исследования позволили дать количественную (в первом приближении) оценку связи между стоком взвешенных наносов и комплексом основных естественных факторов, а также наметить пути расчета твердого стока в неизученных створах рек.

Исследование базируется на разносторонних литературных и ведомственных материалах, характеризующих физико-географические особенности района (климат, геологию, почвы, растительный покров, энергию вод, жидкий и твердый сток и т. д.), а также на материалах, собранных автором, в течение ряда лет участвовавшим в полевых гидроэнергетических обследованиях горных районов Северного Кавказа (1928—1933, 1945, 1947, 1949).

Выбранные, в качестве объектов исследования, бассейны рек Терека и Сулака обладают на отдельных участках чрезвычайно разнообразными условиями климата (от холодного и влажного до теплого и сухого), геолого-литологических условий (от древнейших горных пород докембрия

и лавовых массивов до новейших четвертичных отложений), почвенного покрова (от маломощных скелетных почв до тучных черноземов), растительности (от высокогорных лишайников и ксерофитов до мощных широколиственных лесов). Очень разнообразна и морфологическая характеристика отдельных частей бассейнов Терека и Сулака.

Несмотря на ряд имеющихся недостатков, твердый сток бассейнов Терека и Сулака изучен полнее и надежнее большинства других рек Северного Кавказа и общий характер режима твердого стока этих рек и их главнейших притоков выражен достаточно отчетливо.

Район очень выгодно и довольно резко делится на две части: западную, более влажную (бассейн Терека) и восточную, более сухую (бассейн Сулака), что дает некоторые возможности для сопоставлений и анализа формирования твердого стока рек в различных климатических условиях.

Таким образом, в выбранном районе сочетается большое разнообразие естественных условий, определяющих различные режим и величину твердого стока.

По приближенным подсчетам А. В. Волина [4], с каждого квадратного километра площади восточной части Большого Кавказа за год в среднем сносится 1600 т почво-грунтов. Максимальный снос — 2248 т — А. В. Волиным определен для бассейна Аргуна у Дуба-Юрта; именно здесь отмечена самая большая интенсивность эрозии, встречающаяся в СССР.

Под твердым стоком понимается сумма стока взвешенных, стока влекомых (или донных) и химически растворенных в воде наносов. С наибольшей полнотой учитывается пока только часть твердого стока, проносимая водой во взвешенном состоянии. Немногочисленные данные по стоку влекомых наносов относятся обычно к отдельным расходам, причем точность их в связи со значительным несовершенством методики исследования пока мало удовлетворительна.

Для рек горной части Северного Кавказа количество донных наносов от взвешенных ориентировочно принимают равным 20% [4]. Ниже приводится наш подсчет величины влекомых (донных) и взвешенных наносов по ст. Верхний Ларс (Терек), основанный на материалах Гидроэнергопроекта.

Таблица 2

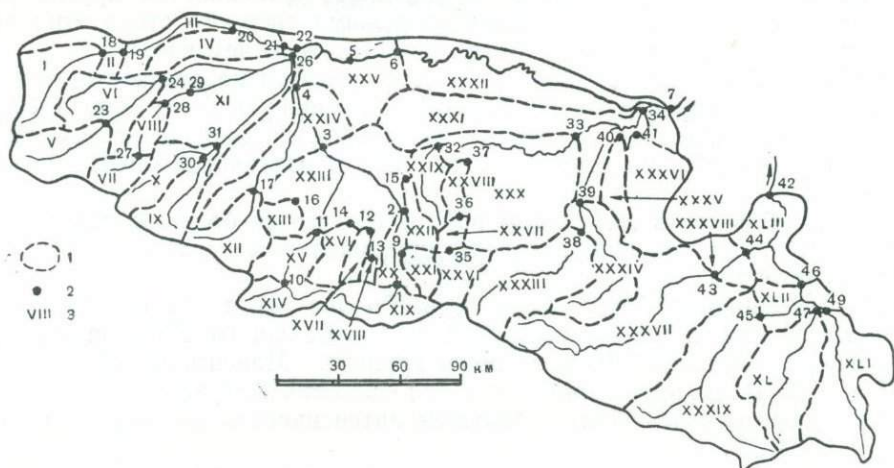
Соотношение между взвешенными и донными наносами
(по данным ст. Верхний Ларс)

Месяцы	Сток взвешенных наносов (в тыс. т)	Сток влекомых наносов (в тыс. т)	% влекомых от взвешен.
Январь—октябрь 1946 г.	337,251	46,406	13,8
Май — сентябрь	326,632	45,724	14,0

Из приведенных в табл. 2 данных следует, что количество донных наносов по сравнению с количеством взвешенных наносов для горной части исследуемого района невелико. Учитывая это и не имея достаточного количества надежных данных о стоке донных и растворенных в воде наносов, автор счел возможным ограничиться изучением только стока взвешенных наносов (что для выводов в первом приближении вполне достаточно), предусмотрев в дальнейшем при расчетах заилиения водохранилищ соответствующую поправку.

В качестве показателя, характеризующего твердый сток рек, принят годовой модуль эрозии по взвешенным наносам, т. е. величина смыва с поверхности бассейна, выражающаяся в тоннах с квадратного километра в год, связывающая мутности рек с площадями их бассейнов.

Расположение гидрометрических станций, изучающих режим жидкого и твердого стока рек района, показано на фиг. 1. Из схемы видно, что



Фиг. 1. Схема расположения гидрометрических станций и водосборных участков:

1—границы водосборных участков; 2—гидрометрические станции; 3—номера водосборных участков.

Примечание. Номера гидрометрических станций соответствуют номерам фиг. 2 и 3.

главная масса гидрометрических станций сосредоточена в бассейне Терека и на его левых притоках, 10—в бассейне Сунжи и всего 7—в бассейне Сулака.

Систематические наблюдения за твердым стоком сосредоточены, главным образом, на средних и нижних участках течения наиболее крупных рек района. В большинстве случаев начало этих наблюдений приурочено к местам выходов рек из горных областей в предгорную. Величины твердого стока, полученные на этих (наиболее высоко расположенных) станциях, таким образом, обусловлены комплексом различных естественных факторов всей горной части бассейна, что в значительной мере затрудняет анализ процесса формирования твердого стока. Трудность анализа усугубляется отсутствием метеорологических станций, изучающих режим осадков в верхних частях бассейнов рек, замыкаемых вышеуказанными (наиболее высоко расположенными) гидрометрическими станциями.

В соответствии с наличием и размещением на территории района гидрометрических станций, изучающих режим твердого стока, бассейны рек Терека и Сулака были разбиты на 43 части, представляющие собой отдельные участки водосборных бассейнов указанных рек и их главных притоков и замыкаемые соответствующими гидрометрическими станциями. В дальнейшем изложении эти части называются «участками» и обозначены римскими цифрами (от I до XLIII), в отличие от арабских цифр, которыми обозначены гидрометрические станции. Относительное расположение участков показано на схеме (фиг. 1).

Как видно из схемы, полученные, таким образом, участки нигде между собой не перекрываются и без разрывов более или менее равномерно покрывают территорию всего района. Границами участков служат водораздельные линии, отделяющие территорию данного участка от соседних участков бассейна той же или смежной реки.

Дальнейшая задача исследования сводилась к изучению природных условий каждого участка, отысканию путей количественной их оценки и выявлению зависимости твердого стока участка от формирующих его естественных факторов.

Все исследование поэтому проведено в рамках указанных участков, к территории которых привязан весь собранный литературный, ведомственный и картографический материал, а также все последующие результаты измерений и вычислений.

Твердый сток, или сток наносов, является, как известно, результатом смыва поверхности водосборного бассейна и размыва русел рек. Размеры твердого стока определяются степенью интенсивности как плоскостной (склоновой), так и глубинной (русловой) эрозии, протекающих на территории данного водосборного бассейна.

Среди большого разнообразия естественных физико-географических факторов, влияющих на интенсивность формирования и сноса твердого материала, по общему мнению многих исследователей этого вопроса, наибольшее значение имеют: климат, рельеф, литологический состав пород, почвенный и растительный покров, причем среди условий, создаваемых климатическим фактором, наиболее важную роль играет количество осадков, характер выпадения их и распределения в году, среди характеристик рельефа — крутизна склонов и степень изрезанности рельефа, среди условий, создаваемых литологическим составом пород и почвенным покровом — физико-химический их состав и степень противоэрозийной устойчивости, среди условий, создаваемых растительным покровом — способность растений уменьшать стремительность поверхностного стока воды, закреплять почву и предохранять ее от размыва.

В свете изложенных положений и в соответствии с той или иной полнотой имеющихся литературных, ведомственных и картографических данных были изучены основные естественные условия исследуемого района в целом и каждого отдельного участка в частности, в результате чего были получены количественные показатели, характеризующие жидкий и твердый сток, формирующийся на территории участка, литологический состав пород, слагающих водосборный участок, его почвенный и растительный покров, ряд морфометрических характеристик рельефа участка и потенциальную энергию его вод.

На отдельных восковках в масштабе 1 : 500 000 для каждого участка было получено картографическое отображение какого-либо одного из основных естественных факторов, принимающих участие в формировании твердого стока на территории этого участка: литологический состав, почвы, растительность. При этом каждый раз имелось в виду выделить площади, на территории которых по линии того или иного фактора можно ожидать увеличения или наоборот, уменьшение эрозийных процессов. Иначе говоря, для оценки влияния того или иного фактора выделялось то, что, по имеющимся в литературе сведениям, способствовало или, наоборот, препятствовало эрозийным процессам. Построенные таким путем контуры планиметрировались, в результате чего для каждого участка была получена приближенная количественная характеристика основных естественных факторов, формирующих твердый сток на территории участка.

Параллельно с описанной выше работой были произведены обмеры соответствующих контуров на картах масштабов 1 : 200 000 и 1 : 500 000 с целью получения нужных морфометрических данных: средних абсолютных высот участков, средних углов наклона склонов, площадей физических поверхностей, объемов массивов участков и других. Карты более крупных масштабов по разным причинам к работе не привлекались.

Вычисление площадей физических поверхностей производилось по формуле:

$$\Phi = F \sec \alpha, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{h \Sigma l}{F},$$

где Φ — площадь физической поверхности участка (в км²);

F — площадь участка (в км²);

Σl — сумма длин горизонталей (в км);

α — средний угол наклона поверхности (в минутах);

h — сечение горизонталей (в м).

Вместо l — длины горизонталей, определенной по карте какого-либо одного масштаба, была найдена по методу Н. М. Волкова величина l редуцированное, для чего измерения велись по картам двух масштабов 1 : 200 000 и 1 : 500 000:

$$l_{\text{ред}} = l_2 + t(l_2 - l_1),$$

где

$$t = \frac{\sqrt{N_2}}{\sqrt{N_1} - \sqrt{N_2}},$$

причем l_1, N_1 относятся к карте мелкого масштаба 1 : 500 000, а l_2, N_2 — к карте крупного масштаба 1 : 200 000.

В качестве исходного картографического материала по геологии района были использованы листы еще неизданной геологической карты Северного Кавказа масштаба 1 : 500 000 (штриховые пробы листов К-38-А и К-38-Б), в качестве дополнительного материала — геологическая карта СССР (под редакцией А. П. Герасимова) масштаба 1 : 1 000 000 Комитета по делам геологии при СНК СССР. Лист К-38. Издание 1941 г.

При изучении почвенного покрова исходным материалом служила «Почвенная карта северного склона Кавказа (центральной и восточной части)», составленная С. В. Зонном в масштабе 1 : 500 000 в 1942 г. и изданная в 1946 г.

При подсчетах площадей лесных массивов была использована топографическая карта масштаба 1 : 500 000, составленная 8-й картофабрикой и изданная в Тбилиси в 1939 г.

В результате изучения и обработки большого фактического гидрометрического материала, из 66 гидрометрических створов в бассейнах рек Терека и Сулака были отобраны 49 пунктов, имеющих наибольшую изученность, составлена схема изученности жидкого стока и стока взвешенных наносов на территории района (фиг. 2) и дана качественная характеристика ежегодных сведений о среднемесячных расходах взвешенных наносов (фиг. 3). Из этих материалов видно, что после 1935 г. число станций с наблюдениями за твердым стоком значительно сократилось главным образом за счет закрытия наиболее высоко расположенных (и очень нужных для настоящего исследования) станций: Чаалмала, Хабаз, В. Чегем, Кара-су, Н. Заромаг, В. Кобань, Кара-Булакская,

№	Станция	Река	Координаты		Годы наблюдений																							
			α	λ	1925	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946		
1	Казбек	Терек	42 40	44 39	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2	Дзуджикау	"	43 02	44 41	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3	Эльхотово	"	43 20	44 12	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4	Котлярская	"	43 35	44 05	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5	Чернаярская	"	43 41	44 22	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6	Моздок	"	43 43	44 39	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7	Амираджи-Курт	"	43 25	46 14	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
8	Каралинская	"	43 43	46 31	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
9	Джерах	Армхи	42 51	44 39	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
10	Н.Зармаг	Ардон	42 42	43 58	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
11	Тамиск	"	42 58	44 13	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
12	В.Кобань	Гизель-Дон	42 55	44 28	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
13	Тменкау	Генал-Дон	42 49	44 30	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
14	Пусра	Фиаз-Дон	42 56	44 22	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
15	Ольгинское	Камбилевка	43 10	44 42	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
16	Урс-Дон	Белая	43 06	44 04	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
17	Лесозавод №3	Урух	43 11	43 50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
18	Хабаз	Малка	43 43	42 55	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
19	Катенкопитское	"	43 44	43 04	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
20	Павлоградский	"	43 50	43 41	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
21	г. Прохладный	"			...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
22	ст. Прохладная	"	43 44	44 04	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
23	Чалмала	Баксан	43 27	43 00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
24	Занкова	"	43 36	43 18	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
25	Кизибурги I	"	43 39	43 23	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
26	ст. Прохладная	"	43 44	44 03	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
27	В. Чегем	Чегем	43 17	43 09	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
28	Н. Чегем	"	43 30	43 17	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
29	Лечинкая	"	43 33	43 25	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
30	Кара-Су	Черек	43 16	43 32	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
31	Кашкатау	"	43 19	43 37	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
32	Карабулакская	Сунжа	43 18	44 54	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
33	г. Грозный	"	43 18	45 40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
34	Брагуны	"	43 26	46 06	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
35	Хайрах	Асса	42 49	44 56	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
36	Н. Ялхун	"	42 59	45 01	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
37	Нестеровская	"	43 14	45 03	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
38	Шатой	Ареун	42 53	45 41	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
39	Дуба-Курт	"	43 02	45 43	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
40	Джалка	Джалка	43 19	45 57	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
41	Гудермес	Гудермес	43 21	46 05	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
42	Миатлы	Сулак	43 05	46 50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
43	Тлах	Ангийское	42 41	46 28	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
44	Царкаты	Койсу	42 47	46 42	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
45	Голатлы	Аварское	42 29	46 44	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
46	Балаханский мост	Койсу	42 36	46 58	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
47	Гергебил	Кара-Кайсу	42 30	47 03	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
48	Красный мост	"		
49	Гергебил	Казикумуская	42 30	47 04

Фиг. 2. Изученность жидкого стока и стока взвешенных наносов:

сплошной линией даны полные, пунктиром — неполные за год наблюдения. Верхней линией (или пунктиром) показаны сведения о жидком стоке, нижней — о стоке взвешенных наносов.

Примечания. 1. По 1935 г. включительно сведения взяты из «Материалов по режиму рек СССР», за все последующие годы — из неопубликованных материалов ГГИ (Ленинград). 2. В таблице помещены сведения о среднемесячных расходах, использованных при проведении настоящих исследований.

№	Станция	Река	Годы наблюдений																					
			1925	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946
1	Назрань	Терек	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
2	Дзюджинау	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
3	Элхотобо	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
4	Котлярская	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
5	Черноярская	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
6	Маздон	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
7	Амиравжи-Юрт	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
8	Каралинская	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
9	Джерах	Армхи	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
10	н Зарамаг	Ардон	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
11	Тамык	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
12	В. Кабано	Гизель-Дон	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
13	Тменикау	Гемал-Дон	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
14	Гусра	Фидел-Дон	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
15	Ольгинское	Камбилривка	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
16	Урс-Дон	Белая	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
17	Лесозавод №3	Чуух	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
18	Хабаз	Малка	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
19	Каменноостров	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
20	Павлоградский	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
21	г. Прохладный	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
22	ст. Прохладная	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
23	Чоалмала	Боксан	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
24	Занкабо	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
25	Кизляр I	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
26	ст. Прохладная	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
27	В. Черем	Чегет	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
28	Н. Черем	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
29	Лечинкая	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
30	Кара-Су	Черек	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
31	Кашкатау	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
32	Карабулакская	Сунжа	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
33	г. Грозный	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
34	Брагуны	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
35	Хайрах	Асса	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
36	Н. Алчун	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
37	Неттеравская	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
38	Шатоу	Аргун	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
39	Дуба-Юрт	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
40	Джалла	Джалка	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
41	Гудермес	Гудермес	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
42	Маатлы	Сулак	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
43	Тлак	Андейское	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
44	Чиркаты	Койсу	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
45	Галатлы	Аварское	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
46	Бабаханский мост	Койсу	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
47	Гергебил	Кара-Койсу	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
48	Красный мост	"	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<
49	Гергебил	Кашитурское	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<	X<

X 1 X 2 X 3 ◀ 4 ◀ 5 < 6

Фиг. 3. Характеристика ежегодных сведений о среднемесячных расходах взвешенных наносов.

Сведения за год: 1 — полные, надежные; 2 — полные, частично ненадежные; 3 — неполные.

Сведения за теплую часть года (май — сентябрь): 4 — полные, надежные; 5 — полные, частично ненадежные; 6 — неполные.

Примечание. По 1935 г. включительно сведения взяты из «Материалов по режиму рек СССР», за все последующие годы — из неопубликованных материалов ГГИ (Ленинград).

Хайрах, Н. Алкун и других в бассейне Терека, а также за счет станций Глох и Голотль в бассейне Сулака. Наибольшей длительностью и полнотой характеризуются данные станций, расположенных по всему течению собственно Терека. В бассейне Терека (со всеми притоками) наибольшее число станций работало в 1935 г., наиболее полные наблюдения в бассейне Сулака относятся к 1940 г.

В ряде случаев там, где данные за целый год носят обрывочный, или недостоверный характер, за теплый период (май — сентябрь) имеются полные и надежные данные. Таким образом, надежных сезонных данных имеется за большее число лет и по большему числу станций, чем надежных данных за весь год.

Вопрос о подборе (для исследования) одинакового, более или менее длительного, периода лет наблюдений за твердым стоком для всех станций района (или даже только для горных) таким образом отпадает, что затрудняет возможность сопоставления данных различных бассейнов рек, а кроме того осложняет и вывод средних многолетних величин стока взвешенных наносов рек, внося элемент случайности. Не имея возможности (в силу большой трудоемкости) определить средне-многолетние (приведенные к определенному периоду) величины стока взвешенных наносов для всего района исследования, автор считал возможным подобрать один общий для большинства станций района год, и притом близкий к среднему по стоку взвешенных наносов.

Наблюдения за жидким стоком (фиг. 2) носят более длительный характер. К станциям с периодом наблюдений от 10 лет и более относятся 19 станций. По данным о жидком стоке определены характерные (по воде) годы за весь период наблюдений, причем к числу наиболее маловодных лет для большинства станций района могут быть отнесены 1933 и 1934 гг. (западная часть района — левобережные притоки Терека), 1935 г. (правые притоки Терека), 1934 и 1940 гг. (крайний восток района — бассейн Сулака), к наиболее многоводным годам относятся 1932 и 1939 гг.

Из десятилетнего периода наблюдений нет ни одного года, в течение которого работали бы все 49 станций района, для большинства же станций района таким общим годом наблюдений является 1935 г., в течение которого работы велись на 38 станциях (около 78% от общего числа станций). Анализ данных показал, что по стоку взвешенных наносов 1935 г., почти для половины станций бассейна Терека, может считаться близким к среднему. Справедливость такого заключения несколько нарушается в бассейнах некоторых правых притоков Терека, для которых данные 1935 г., как уже сказано выше, являются минимальными или, как, например, для станций Грозный и Дуба-Юрт, — близкими к минимальным. Для большинства станций бассейна Сулака 1935 г. из наблюдений выпадает, однако, судя по многолетним данным двух станций этого бассейна Балаханский мост (9 лет) и Чиркаты (10 лет), 1935 г. по стоку взвешенных наносов и для станций бассейна Сулака, повидимому, также является годом, близким к среднему.

Таким образом, данные по жидкому стоку и стоку взвешенных наносов за 1935 г. (табл. 3) для большинства станций района можно считать средними многолетними или в некоторых случаях близкими к средним. Это дает нам некоторое право принять 1935 г. за основной год при сравнении величин взвешенных наносов по разным станциям. То же обстоятельство, что данные 1935 г. для некоторых правых притоков Терека являются не средними, а минимальными, не может дать резкого искажения действительности уже потому, что мутность рек

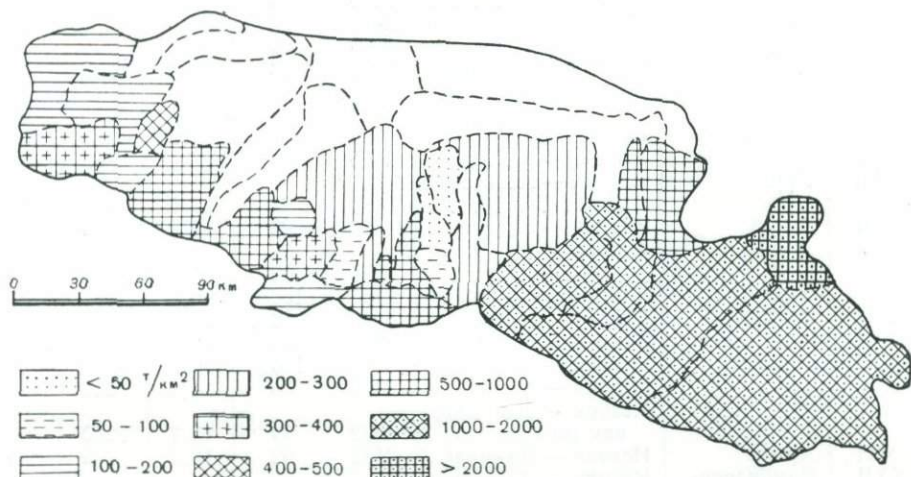
Средние за 1935 г. величины расходов воды и взвешенных наносов

№№ гидрометрических станций	Река	Станция	Расход		№№ гидрометрических станций	Река	Станция	Расход	
			воды (в м³/сек)	взвешенных наносов (в кг/сек)				воды (в м³/сек)	взвешенных наносов (в кг/сек)
1	Терек	Казбек	21,2	17,1	24	Баксан	Заюково	32,4	18,0
2	"	Дзауджикау	31,0	30,7	25	"	Кызбурун	33,4	20,7
3	"	Эльхотово	114,0	65,7	26	"	Прохладная	87,0	—
4	"	Котляревская	123,0	113,0	27	Чегем	В. Чегем	10,1	2,25
5	"	Черноярская	229,0	185,0	28	"	Н. Чегем	12,9	6,30
7	"	Амираджи-Юрт	288,0	551,0	31	Черек	Кашкатау	39,1	21,8
8	"	Каргалинская	281,0	405,0	32	Сунжа	Карабулакская	2,35	0,82
9	Армхи	Джерах	4,04	0,51	33	"	Грозный	29,5	37,3
10	Ардон	Н. Заромаг	15,8	2,32	34	"	Брагуны	72,8	180,0
11	"	Тамиск	26,7	8,19	37	Асса	Нестеровская	13,2	7,72
14	Фиэгдон	Гусра	6,85	0,94	38	Аргун	Шатой	24,4	55,6
15	Камбилеевка	Ольгинское	2,33	0,34	39	"	Дуба-Юрт	39,6	139,0
16	Белая	Урсдон	6,05	1,74	41	Гудермес	Гудермес	3,6	23,9
17	Урух	Лесозавод № 3	26,1	16,0	42	Сулак	Мнатлы	152,0	—
19	Малка	Каменноостокское	12,8	8,9	44	Андиийское-Койсу	Чиркаты	64,2	167,0
22	"	Прохладная	99,5	153,0	46	"	Балаханский мост	87,0	241,0
23	Баксан	Чаалмала	22,9	11,2	47	Кара-Койсу	Гергебиль	15,8	—

- Примечания. 1. Номера станций соответствуют номерам фиг. 1, 2 и 3.
 2. По станциям, не помещенным в данную таблицу, в 1935 г. не проводилось полного цикла наблюдений.
 3. На фиг. 1 не помещены гидрометрические станции, имеющиеся в данной таблице, но не принятые для дальнейших исследований.

восточной части района (куда относятся и эти правые притоки Терека), подсчитанная даже по минимальному году, измеряется величинами, в десятки раз превосходящими мутность рек всей остальной части района (табл. 4). Поэтому основное соотношение между величинами стока взвешенных наносов для отдельных частей района, подсчитанное по данным 1935 г., нарушиться не может. Для части створов, по которым в 1935 г. наблюдений не было, использовались данные других лет, по стоку взвешенных наносов близких к средним.

В качестве показателя интенсивности эрозии при сопоставлении речных бассейнов района, как уже сказано выше, был принят модуль



Фиг. 4. Схема смыва с поверхности (1935 г.).

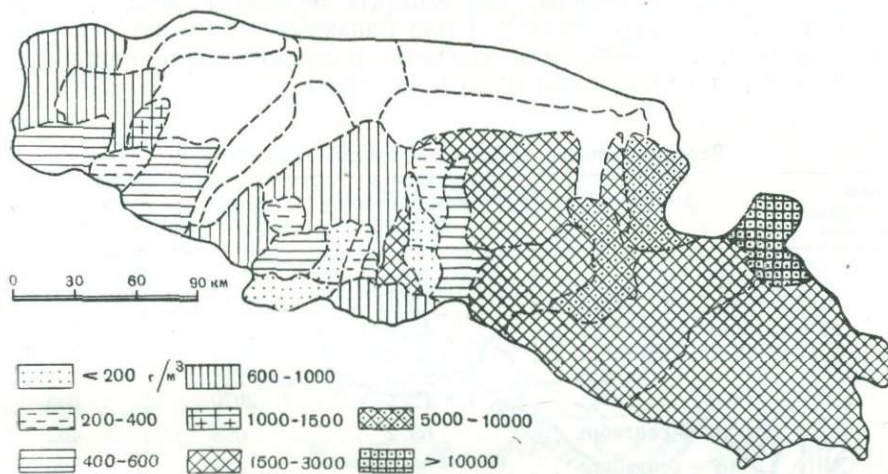
эрозии по взвешенным наносам, представляющий собой весовое отношение стока взвешенных наносов (в тоннах) к единице площади (km^2) в единицу времени (год). Исходные гидрометрические данные для таких участков, как II, VI, VIII, X, XX и др. (фиг. 1), получены по разнице показаний нижележащих (замыкающих) створов и соответствующих вышележащих. В табл. 4 приведены величины модулей эрозии (1935 г.) отдельно для каждого участка. Географическое размещение эрозионных процессов, выраженных в форме модулей эрозии, дано на схеме (фиг. 4). Из схемы видно, что смыв с поверхности участков восточной части района выражается тысячами тонн с квадратного километра в то время, как с участков остальной части района величины смыва лежат в пределах десятков или (в некоторых случаях) сотен тонн с квадратного километра. Наибольшие величины модуля эрозии (1000, 2000 t/km^2 и более) сосредоточены в бассейнах рек Сулака, Аргуна и Гудермеса. Нигде в этой части района модуль эрозии не падает ниже 500 t/km^2 ; максимального значения (больше 2000 t/km^2) модуль эрозии достигает на участке XLIII, расположенном в бассейне Сулака между гидрометрическими станциями «Чиркаты» и «Балаханский мост» на юге и станцией «Миатлы» на севере. Вся остальная часть района к западу от Аргуна отличается от восточной значительно меньшими величинами модуля эрозии. Только отдельными пятнами среди остальных выделяются здесь участки IX и X (Черек до Кашкатау), XII (Урух до Лесозавода № 3), XIX и XX (Терек до Дзауджикау) и XVIII (верховья Геналдона) с модулем эрозии, несколько превышающим

Гидрологическая характеристика района по данным за 1935 г.

№№ водосборных участков ¹	Река	Местоположение участка (от — до)	Средняя вы- сота участка (в м)	Коэффициент стока ² (в %)	Модуль стока (в л/сек с км ²)	Мутность (в г/м ³)	Модуль эрозии (в т/км ² в год)
I	Малка	Истоки — Хабаз . .	2230	46	8,0	695	175
II	"	Хабаз — Каменно- мостское	1454	32	—	—	—
V	Баксан	Истоки — Чаалмала	2810	72	21,8	490	336
VI	"	Чаалмала — Заюково	1803	43	8,4	718	190
VII	Чегем	Истоки — В. Чегем .	2990	78	23,8	218	163
VIII	"	В. Чегем — Н. Че- гем	1832	53	9,5	1465	437
IX	Черек	Истоки — Кара-су . .	2595	—	28,6	558	501
X	"	Кара-су — Кашкатау	2494	—	—	—	—
XII	Урух	Истоки — Лесозавод № 3	2410	93	27,6	614	528
XIII	Белая	Истоки — Урсдон . .	1440	92	19,0	284	170
XIV	Ардон	Истоки — Н. Заро- маг	2675	92	31,1	145	142
XV	"	Н. Заромаг — Тамиск	2153	100	20,6	542	350
XVI	Фиэгдон	Истоки — Гусра . . .	2240	83	17,6	132	74
XVII	Гизельдон	Истоки — В. Кобань	2240	95	20,4	367	236
XVIII	Геналдон	Истоки — Тменикау	3175	100	36,3	575	653
XIX	Терек	Истоки — Казбек . .	2875	76	24,8	807	631
XX	"	Казбек — Дзауджи- кау (без Армхи) . .	1822	99	13,7	2260	975
XXI	Армхи	Истоки — Джейрах .	2185	62	13,7	125	54
XXII	Камбилеев- ка	Истоки — Ольгин- ское	1180	37	7,2	130	30
XXIII	Терек	Дзауджикау — Эль- хотово	—	3,5	13,2	600	250
XXVI	Асса	Истоки — Хайрах . .	2310	70	14,4	583	265
XXVII	"	Хайрах — Н. Алкун	1580	80			
XXVIII	"	Н. Алкун — Несте- ровская	802	25			
XXIX	Сунжа	Истоки — Карабу- лакская	775	17	3,3	348	37
XXX	"	Карабулакская — Грозный	528	25	4,4	2060	289
XXXIII	Аргун	Истоки — Шатой . .	2020	73	14,3	2280	1030
XXXIV	"	Шатой — Дуба-Юрт	1717	61	10,2	5490	1760
XXXV	Джалка	Истоки — Джалка . .	568	—	6,6	2540	523
XXXVI	Гудермес	Истоки — Гудермес .	805	19	2,8	6640	583
XXXVII	Андийское- Койсу	Истоки — Тлох . . .	2085	77	14,0	2600	1140
XXXVIII	Андийское- Койсу	Тлох — Чиркаты . .	1296	26			
XXXIX	Аварское- Койсу	Истоки — Голотль . .	2230	67	11,9	2770	1035
XL	Кара-Койсу	Истоки — Гергебиль	2150	40			
XLI	Казикумух- ское-Кой- су	Истоки — Гергебиль	2050	30			
XLII	Аварское- Койсу	Голотль — Балахан- ский мост	—	—	0,7	10250	2240
XLIII	Сулак	Балаханский мост — Чиркаты—Миатлы	—	30			

¹ Номера водосборных участков соответствуют номерам фиг. 1.² Величины коэффициентов стока подсчитаны по многолетним данным.

500 т/км², но ни в одном из них не достигающим до 1000 т/км². При более детальном рассмотрении эта часть района в свою очередь может быть разделена на западную и центральную (по отношению ко всему району). Минимальных значений в районе модуль эрозии достигает в центральной его части, на участках XXII (верхняя часть бассейна Камбилеевки — 30 т/км²) и XXIX (верхняя часть бассейна Сунжи — 37 т/км²). Среднее же значение модуля эрозии всей центральной части равно примерно 300 т/км². В западной части района, в бассейнах Малки, Баксана, Чегема и Череха, имеют место средние (в районе) значения модуля эрозии 100—400 т/км² (участки I, II, V, VI, VII).



Фиг. 5. Схема распределения мутности (1935 г.).

В отношении распределения величин мутности, так же как и в отношении смыва с поверхности, район может быть ориентировочно разделен на три части (фиг. 5): восточную, где сосредоточена максимальная мутность (1500—10 000 г/м³), центральную (если исключить центральную часть бассейна собственно Терека) с минимальными в районе величинами мутности (125—500 г/м³), и западную, характеризующуюся средними значениями мутности 500—1500 г/м³.

Аналогичная картина получилась и по данным за теплый сезон 1935 г.

Величины мутности и модуля эрозии для участков III, IV, XXIV, XXV, XXXI и XXXII подсчитаны не были ввиду того, что значительная часть жидкого стока рек в этой части района разбирается на орошение каналами: Зольским, Правобережным, Левобережным (Куро-Марьинским), Баксан-Малкинским, Дигорским, Мало-Кабардинским, Алханчуртским и другими, более мелкими. Этой обширной системой каналов воды одного бассейна иногда направляются в соседние бассейны; многие из перечисленных каналов имеют отстойники, часть отведенной воды просачивается или испаряется. Все эти обстоятельства в значительной мере осложняют естественные условия формирования твердого стока на территории указанных участков и не дают возможности изучать последний методами, принятыми в исследовании. Интересно отметить, что при подсчетах (такая попытка была сделана) на участке XXXI, например, величины мутности и модуля эрозии в створе 34 «Брагуны» оказались значительно меньшими, чем в вышележащем

створе 33 «Грозный». Такая же картина получилась и для ряда других участков, на территории которых идет разбор воды. Это свидетельствует, повидимому, о том, что на данных участках, помимо усиленного испарения и просачивания воды в грунт, происходит также большая аккумуляция наносов.

Для характеристики эрозийных процессов в период паводка, когда работа поверхностных вод достигает наибольшей разрушительной силы, по каждому участку были подсчитаны средние за «сезон» (период паводка) 1935 г. значения расходов воды и взвешенных наносов, мутности, модуля эрозии и модуля стока (табл. 5). В «сезон» вошли главным образом те месяцы, для которых величины долей годового стока (по Б. Д. Зайкову) были > 1 или близкими к единице.¹ «Сезоны», таким образом, по своей длительности получились различными для отдельных групп участков (от 4 до 6 месяцев).

Таблица 5

Величины смыва средние за теплый сезон 1935 г.

№№ водосборных участков	Длительность сезона	Модуль стока (в л/сек)	Мутность (в г/м ³)	Модуль эрозии (в т/км ²)
I } II } V } VI } VII } VIII } IX } X }	Май — октябрь	10,6	942	159
	Июнь — сентябрь	47,7	658	329
	Июнь — сентябрь	15,2	623	99,5
	Июнь — сентябрь	63,0	248	163,5
	Июнь — сентябрь	12,8	2670	358
	Июнь — сентябрь	63,2	698	462
XII } XIII } XIV } XV } XVI } XVII } XVIII } XIX } XX } XXI } XXII }	Май — сентябрь	59,5	674	520
	Июнь — сентябрь	26,3	434	169
	Май — август	68,3	178	129
	Май — август	33,2	635	258
	Июнь — сентябрь	32,2	218	73,6
	Июнь — сентябрь	42,2	517	229
	Июнь — сентябрь	72,8	837	642
	Май — сентябрь	44,0	1075	624
	Май — сентябрь	21,0	3390	940
	Май — сентябрь	24,6	153	49,7
	Март — август	9,3	200	29,9
XXVI } XXVII } XXVIII } XXIX } XXXIII } XXXIV } XXXVI } XXXVII } XXXVIII } XXXIX }	Май — сентябрь	23,2	812	248
	Март — август	4,1	572	37
	Май — сентябрь	24,1	3240	1010
	Май — сентябрь	17,5	7580	1755
	Март — август	4,0	9200	578
	Май — сентябрь	23,9	3410	1075
XL } XLI } XLII }	Май — сентябрь	21,6	3550	1010
XLIII }	Май — сентябрь	3,0	32235(?)	1295

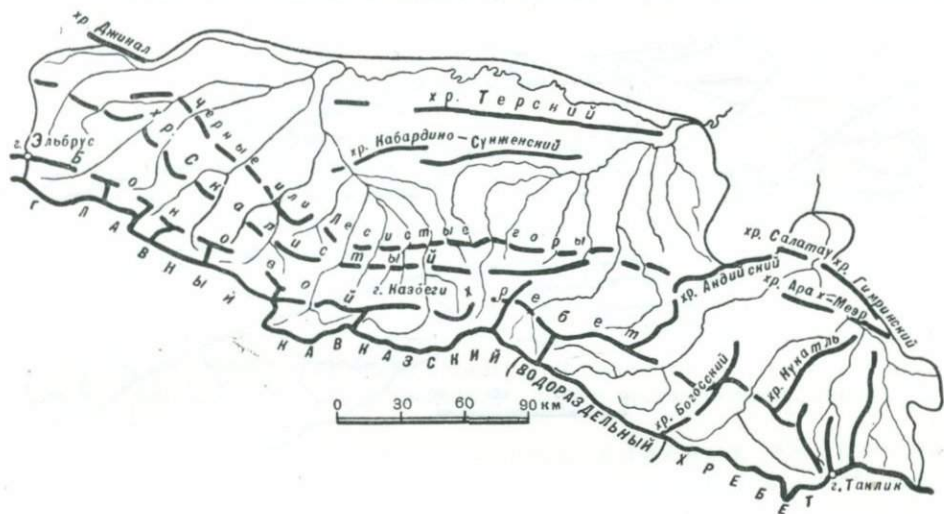
В тех случаях, когда из-за ненадежности данных по 1935 г. величины модулей эрозии для каждого участка в отдельности подсчитаны быть не могли, приведены данные, общие для двух или трех участков, располагающихся в бассейне одной реки: по бассейну Ассы (XXVI +

¹ При годовой сумме долей стока, равной 12.

+XXVII+XXVIII), по бассейну Андийского-Койсу (XXXVII+XXXVIII) и другие. Исследованием установлено, что за теплый сезон проходит почти весь годовой сток взвешенных наносов. Сток наносов в остальную (холодную) часть года в отдельных случаях резко снижается до полного его прекращения.

* *
*

Естественными географическими границами исследуемого района в его горной части служат водораздельные хребты, ограничивающие водосборные бассейны рек Терека и Сулака со всеми их притоками,



Фиг. 6. Орографическая схема.

в равнинной части — условной границей района является параллель 44° с. ш.

Господствующим элементом в рельефе района является горная область. Северная и северо-восточная части представляют собой наклонную равнину, заканчивающуюся аллювиальной низменностью широких дельт Терека и Сулака, расположенной ниже уровня Черного моря. Наиболее высокой частью района является его юго-западная часть, ограниченная верхними течениями левобережных притоков Терека и расположенная между вершинами Эльбрус (5633 м) и Казбек (5043 м), — «Центральная» цепь Большого Кавказа.

С юго-запада на северо-восток идет, таким образом, общее снижение высот (от 5633 и до — 26 м). Наиболее резкое и быстрое снижение высот в этом направлении происходит в центральной части района, где на протяжении около 35 км высоты снижаются примерно на 4000 м.

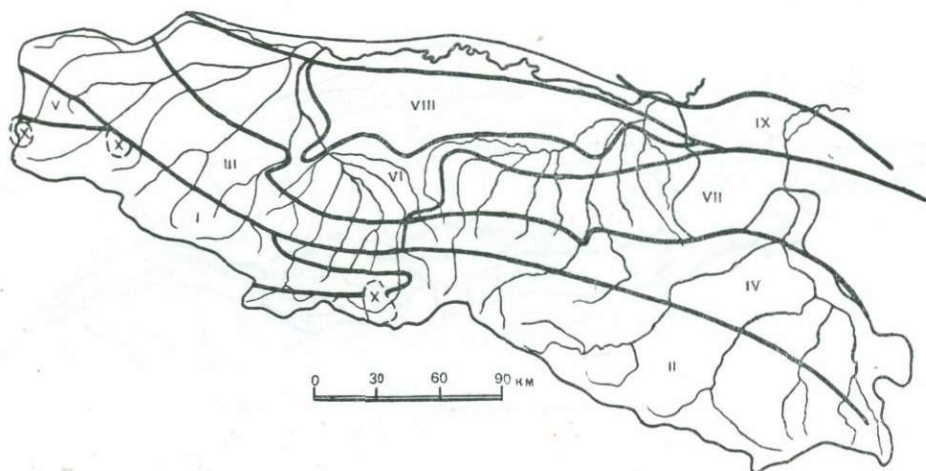
Отдельные орографические части района вытянуты с северо-запада на юго-восток в соответствии с общим простираем тектонических элементов (фиг. 6).

От Главного Кавказского хребта на северо-восток располагается ряд хребтов общего с ним простирания, отделенных друг от друга областями понижений (депрессиями) и расчлененных реками района в поперечном направлении на отдельные горные массивы. Первым параллельным хребтом, орографически мало обособленным от Главного,

является Боковой хребет, несущий на себе самые крупные вершины района (и Кавказа в целом). Далее, вдоль Бокового хребта на всем протяжении района располагается область высоких и низких куэстовых гребней и гряд.

Хребты поперечного направления — многочисленные отроги Главного и Бокового хребтов — развиты на всей территории высокогорной части района, но наибольшего протяжения они достигают в бассейне р. Сулак. Восточная часть района, хотя и сохраняет в бассейне Аргуна значительные высоты, в общем заметно понижается.

«Центральная» цепь Главного Кавказского хребта несет на себе сплошное оледенение со множеством долинных и висячих ледников альпийского типа. Разобщенные речными долинами крупные массивы



Фиг. 7. Схема геоморфологических областей:

I — западная высокогорная область; *II* — восточная высокогорная область; *III* — область моноклиальных слоевых ступеней и гребней (куэст); *IV* — известняковая область Северного Дагестана; *V* — область средневысотных гор; *VI* — пояс молодых наклонных равнин; *VII* — зона краевых третичных складок и холмистых предгорий; *VIII* — восточные передовые хребты; *IX* — Кумско-Малкинская равнина; *X* — вулканические области.

Бокового хребта, главным образом в его центральной цепи, также покрыты мощными шапками вечных льдов. В крайней восточной части района располагается обширная горная страна «Внутреннего Дагестана», ограниченная на севере Андийским (до 2800 м), Сала-Тау и Гимринским (до 2000 м) хребтами. Наиболее высокие хребты Дагестана: Богосский, Нукатль и Дюльты-Даг (поперечного направления) обусловлены в значительной степени эрозионной работой рек.

В районе исследования могут быть выделены следующие крупные морфологические области [5], расположение которых показано на схеме (фиг. 7): *I*. Западная высокогорная область. *II*. Восточная высокогорная область. *III*. Область моноклиальных слоевых ступеней и гребней (куэст). *IV*. Известняковая область Северного Дагестана. *V*. Область средневысотных гор. *VI*. Пояс молодых наклонных равнин. *VII*. Зона краевых третичных складок и холмистых предгорий. *VIII*. Восточные передовые хребты.

I. Западная высокогорная область, или кристаллический Кавказ, характеризуется сильным современным оледенением и наиболее ярко выраженными гляциальными формами древнего оледенения, хорошо сохранившимися благодаря преимущественному раз-

витию в этой области прочных кристаллических пород: гнейсов, гранитов, сланцев. Средняя высота гор 4000 м, крутизна склонов достигает 70° и более. Энергично развиты процессы физического и приледникового выветривания. Мощные осыпи частично закреплены в настоящий момент растительным покровом. Западная высокогорная область без резких границ на востоке переходит в восточную высокогорную область.

II. Восточная высокогорная область (сланцевый Дагестан) отличается от первой полным отсутствием гранитов и широким распространением песчаников и глинистых сланцев южной и средней юры. Современное оледенение здесь значительно слабее. Ледниковые формы сохранились только в верхних частях долин. Благодаря легкой разрушаемости пород и значительной континентальности климата, резко выражены явления современных процессов выветривания, ведущих к образованию колоссальных накоплений щебня. Общая сильная расчлененность рельефа и значительные (до 70°) углы наклона склонов влекут за собой большую интенсивность движения рыхлых масс по склонам, отчего толща этих масс в общем незначительна. Средняя высота области 1500—2000 м, врезанность долин 500—1000 м. Склоны северной и западной экспозиций крутые и сильно эродированные, южной и восточной — более пологие и менее эродированные. При общей мягкости рельефа сочетание разного простираения антиклинальных и синклинальных хребтов с тектоническими и эрозионными долинами создают впечатление большой беспорядочности. Орографически резко отличается от всей горной области та часть Главного Кавказского хребта, где расположены верхние части продольных долин всех Койсу, врезанных в среднем на 600—800 м.

III. Область моноклиналильных слоевых ступеней и гребней (куэст), в отличие от вышеописанных высокогорных форм рельефа тектонического типа, представляет собою область высокогорных форм структурного типа, где рельеф совпадает с геологической поверхностью пород. Формы рельефа этой области обусловлены стойкими по отношению к эрозии, слабо дислоцированными осадочными породами. Это узкие плато, полого наклонные к северу и круто обрывающиеся к югу. Первая, наиболее высокая, южная куэста — Скалистый, или Известняковой, хребет — сложена прочными известняками верхней юры и нижнего мела. Высота до 3000 м и более. Левыми притоками Терека в Скалистом хребте промыты глубокие (до 2000 м) ущелья. Подножия обрывистых южных склонов хребта одеты сплошными шлейфами из глыб известняковых скал и имеют ярко выраженный фестончатый характер. На северном склоне хребта развиты карстовые явления. Контрастные формы, типичные для Скалистого хребта, в бассейне Малки принимают пологосклонный, платообразный характер. Вторая (северная), менее высокая, куэста — пастбищный хребет — представлена в исследуемом районе только своей восточной оконечностью — хребтом Джинал, сложенным верхнемеловыми известняками. Южный обрывистый склон хребта образует тектоническо-эрозионную депрессию р. Кич-Малки. К востоку от Баксана куэста переходит в низкие моноклиналильные хребты предгорий, обычно называемые «Черными или Лесистыми» горами, обрамляющими скалистый хребет с севера. Черные горы сложены песчаниками, сланцами и известняками третичного времени.

IV. Известняковая область Северного Дагестана — складчатая система, сложенная меловыми и юрскими известня-

ками, глинистыми сланцами и песчаниками, образующими ряд крупных антиклинальных и синклиналиных хребтов с крутыми скалистыми склонами, несущими на себе следы оледенений и нарушающими общий платообразный характер форм рельефа, представляющего собой как бы одну эрозионную поверхность, в которой реки пропилили каньонообразные ущелья глубиной до 1200 м.¹ Плато отличаются развитием на них мелкоземистых элювиальных и делювиальных образований мощностью до 1,5 м. На северо-востоке область заканчивается стеной высоких обрывов — хребтами Сала-Тау и Гимринским, сложенными верхнеюрскими известняками. Здесь Сулак образует каньон длиной более 50 м и глубиной, местами достигающей 1900 м.

V. Область средневысотных гор располагается на крайнем западе района в бассейне Малки, между резко возвышающейся над нею западной высокогорной областью на юге и областью куэст на севере. Горы сложены преимущественно песчаниками и сланцами нижней юры, нижней перми и карбона. Область выделяется мягкими формами широких плоских или округлых водоразделов, между которыми глубоко врезаны долины рек.

VI. Пояс молодых наклонных равнин занимает узкую полосу прогиба вдоль предгорий, от с. Баксан на западе до р. Гойты на востоке, и образован продуктами размыва гор (флювиогляциальными галечниками). Погруженные на сотни метров коренные породы прикрыты толщей рыхлых четвертичных отложений и лёссовидных суглинков. Область развития форм аккумулятивного (или насыпного) рельефа.

VII. Зона краевых третичных складок и холмистых предгорий представляет собой область среднегорных форм рельефа, для которой характерны: небольшая абсолютная высота (до 1200 м), небольшая врезанность речных долин и относительная амплитуда колебания поверхности, небольшая крутизна склонов и значительная ширина их. Все это обуславливает меньшую интенсивность движения продуктов выветривания горных пород и их сравнительную мелкозернистость. Средняя высота области 500—750 м. Здесь развиты преимущественно рыхлые, легко размывающиеся породы третичного возраста и только местами в хребтах среди глинистых пород обнажены верхние меловые известняки. Для области характерно слабое развитие гидрографической сети. Кроме незначительных ручьев, Сулак принимает здесь в себя ряд балок (обычно сухих), в периоды ливней превращающихся в стремительные потоки, несущие огромные количества наносного материала и нередко образующие сплошные селевые потоки [12].

VIII. Область восточных передовых хребтов представлена двумя невысокими горными грядами — Терским и Сунженским хребтами — и широкой Алханчуртской долиной между ними. Гряды сложены осадочными породами третичного возраста (прикрыты суглинками) мощностью в несколько десятков метров, долина — смыты с гряд суглинками. Местность носит полупустынный характер. Постоянных проточных вод здесь нет. Эрозия почти отсутствует.

Особое место среди описанных областей занимают депрессии: Центральная (между Главным и Боковым хребтами) и Северная (между Боковым и Скалистым хребтами) (фиг. 6). Области обеих депрессий

¹ По мнению А. А. Варданянца и других исследователей, большая часть горного Дагестана в начале четвертичного периода имела вид обширной слабо наклоненной к морю равнины, а затем была поднята и подверглась эрозионному расчленению.

сложены сланцево-песчаной толщей верхнего лейаса и средней юры — породами легко разрушающимися и размываемыми, что отражено в сглаженных формах рельефа и расширенных долинах рек (котловинах). Скопление здесь атмосферных и грунтовых вод часто ведет к заболачиванию. Малая водопроницаемость глинистых сланцев способствует быстрому прохождению ливневых осадков и образованию огромных конусов выносов рыхлого материала. Котловинный характер долин ярко выражен на Баксане (Былымская котловина), на Чегеме (Актопракская), на Черке (Безингийская и Верхне-Черекская).

Влияя непосредственно на интенсивность речного стока и на энергию проточных вод, рельеф тем самым является одним из существеннейших факторов формирования стока наносов рек. Отсутствие математического выражения, которое можно было бы принять за функцию сложности рельефа и надежной методики, лишает возможности в настоящий момент дать исчерпывающую оценку степени расчлененности рельефа отдельных участков района, однако некоторые подсчеты в этом направлении автором сделаны. В табл. 6 приведены данные, характеризующие максимальную амплитуду колебания высот в пределах исследуемых участков, среднюю абсолютную высоту и площадь участков, объемы их массивов, средний угол наклона склонов и площадь физической поверхности.¹

Горные породы, принимающие участие в строении района, имеют весьма разнообразный литологический состав и возраст: от прочных кристаллических пород докембрия до современных четвертичных отложений.

Наибольшей прочности породы, с трудом поддающиеся размыву, вскрываются в массивах Бокового и Главного хребтов западной и центральной частей района. Сюда относятся кристаллические породы: граниты, гнейсы, а также кристаллические сланцы. Восточной границей выходов этих пород служит Дарьяльский гранитный массив. Это область хаотического накопления колоссальных толщ очень прочного крупнообломочного, глыбового материала, загромождающего реки главным образом донными наносами.

Широко распространенными на территории района являются мезозойские отложения, главным образом юрские, наиболее полно представленные в восточной, Дагестанской части района.

Среди пород юрской системы, вскрывающихся в районе исследования, особой прочностью обладают темные аспидные глинистые сланцы нижнего и среднего лейаса, прорезанные многочисленными жилами твердых вулканических пород: порфиритов, кварцев, диабазов, восточной границей распространения которых является бассейн Ассы [8], а также карбонатная толща известняков и доломитов верхней юры, наиболее ярко представленной в рельефе куэстовой грядой — Скалистым хребтом.

В процессе выветривания темные аспидные сланцы нижнего и среднего лейаса, прорезанные жилами твердых пород, так же как и юрские известняки, разрушаются медленно и в осыпях дают крепкий, крупнообломочный материал, обогащающий реки донными наносами.

Наибольшего развития юрские известняки достигают в западной части района (у Нальчика), наименьшего — в восточной части.

Известняками верхней юры в Дагестане образованы высокие, слегка вогнутые, синклинальные плато, расчлененные на отдельные части

¹ Величина участка XXXI в бассейне р. Сунжи между ст. Грозный — Брагуны, по нашим подсчетам, резко расходится с данными Б. Д. Зайкова [9], где, по видимому, вкралась ошибка в подсчетах на 1000 км².

Таблица 6

Морфометрическая характеристика района

№№ водосборных участков	Река	Высота участка (в м)			F (в км²)	V (в км³)	Ф (в км²)	α (в °)	Ф F
		максимальная	минимальная	средняя					
I	Малка	5683	920	2280	1070	2390	1210	28	1,13
II	"	2332	794	1454	530	771	550	15	1,04
III	"	1469	370	—	435	—	—	—	—
IV	"	800	182	—	788	—	—	—	—
V	Баксан	5633	1080	2810	1050	2952	1233	32	1,17
VI	"	4250	658	1803	1130	2040	1246	25	1,10
VII	Чегем	4349	1410	2990	424	1268	522	36	1,23
VIII	"	2848	900	1832	296	542	358	34	1,21
IX	Черек	5198	757	2595	678	1760	851	37	1,25
X	"	5198	675	2494	692	1716	846	35	1,22
XI	Баксан	2848	184	—	2800	—	Не подсчитаны		
XII	Урух	4646	713	2410	953	2300	"	"	"
XIII	Белая	3423	500	1440	315	454	"	"	"
XIV	Ардон	4129	1659	2675	509	1361	"	"	"
XV	"	4646	713	2158	531	1147	"	"	"
XVI	Фиэгдон	3998	861	2240	385	863	"	"	"
XVII	Гизельдон	4776	1000	2240	147	329	"	"	"
XVIII	Геналдон	5043	1370	3175	59	187	"	"	"
XIX	Терек	5043	1716	2875	855	2460	"	"	"
XX	"	5043	679	1822	423	1266	"	"	"
XXI	Армхи	3448	925	2185	292	638	"	"	"
XXII	Камбилеевка	3002	546	1180	319	376	"	"	"
XXIII	Терек	3000	311	—	2725	—	"	"	"
XXIV	"	4391	213	—	1807	—	"	"	"
XXV	"	4391	126	—	2610	—	"	"	"
XXVI	Асса	3448	1200	2310	523	1209	"	"	"
XXVII	"	2800	765	1580	174	275	"	"	"
XXVIII	"	2800	425	802	220	177	"	"	"
XXIX	Сунжа	2800	400	775	639	533	"	"	"
XXX	"	2417	118	528	3144	1659	"	"	"
XXXI	"	811	54	—	2410	—	"	"	"
XXXII	Терек	565	20	—	3388	—	"	"	"
XXXIII	Аргун	4504	475	2020	1700	3438	2239	41	1,32
XXXIV	"	4275	337	1717	1490	2568	1696	29	1,14
XXXV	Джалка	2100	50	568	491	279	511	16	1,04
XXXVI	Гудермес	2450	47	805	1290	1039	1337	15	1,04
XXXVII	Андийское-Койсу	4504	573	2085	4040	8480	Не подсчитаны		
XXXVIII	"	2600	376	1296	560	726	"	"	"
XXXIX	Аварское-Койсу	4150	740	2280	3110	7090	"	"	"
XL	Кара-Койсу	3414	679	2150	1750	3760	"	"	"
XLI	Казикумухское-Койсу	3922	656	2050	1840	3775	2112	29	1,15
XLII	Аварское-Койсу	2351	534	—	620	—	—	—	—
XLIII	Сулак	2600	90	—	1150	—	1365	33	1,19

Примечание. Минимальные высоты участков даны по ведомственным материалам, картам и «Материалам по режиму рек СССР» [16].

V — объем массива, отнесенный к уровню Черного моря.

Ф — площадь физической поверхности.

α — средний угол наклона склонов.

щелевидными эрозионными долинами всех четырех Койсу. Трещиноватость известняково-доломитовой толщи верхней юры обуславливает сильную ее водопроницаемость.

Темными аспидными глинистыми сланцами нижнего и среднего лейаса сложена также вся высокогорная область восточной части района — массивы Бокового и Главного хребтов к востоку от Ассы. По сравнению с вышеописанными аспидными сланцами западной части района, аспидные сланцы восточной части района мало связаны, или совсем не связаны, жилами твердых пород, покрыты множеством трещин, а потому, по сравнению с первыми, менее прочны и легко разрушаются. Как устанавливает Д. И. Абрамович, «...темные сланцы, относимые к палеозою (речь идет о сланцах нижнего и среднего лейаса в бассейне Сулака.— А. К.), очень крепкие и стойкие при механическом воздействии на них, однако, в высшей степени легко разрушаемые под влиянием иссушающего действия теплых воздушных течений и палящего солнца, порождают темный, мелко раздробленный, легко переносимый рекой продукт выветривания, придающий типичную темную окраску водам Сулака и Койсу» [1, стр. 30]. Следовательно, продукты разрушения описываемых пород обогащают реки главным образом взвешенными наносами.

Все сказанное приводит к тому, что темные сланцы нижнего и среднего лейаса, залегающие к востоку от Ассы, могут быть отнесены к породам сравнительно мягким, легко разрушающимся и легко размываемым [8].

К северу от выхода пород нижнего и среднего лейаса обнажена сланцево-песчаная толща верхнего лейаса и средней юры, состоящая из более рыхлых и еще менее метаморфизованных темных глинистых сланцев с прослоями песчаников, пород быстро и легко разрушающихся и порождающих колоссальные количества темного мелко раздробленного (на пологих склонах — мелкоземистого) материала, легко переносимого водой во взвешенном состоянии. Область распространения этих пород морфологически совпадает с областями депрессий (Северной и Центральной), замкнутые котловины которых обладают сухим климатом. Наибольшего развития сланцево-песчаная толща достигает в восточной части района: в бассейнах Сулака и правых притоков Терека. В рельефе эти породы образуют широкие, чаще всего продольные, долины с пологими склонами мягких очертаний благодаря наличию на них значительных толщ мелкообломочного материала. Наряду с этим, характерны крутые овраги с мощными конусами выносов, образующиеся в результате деятельности периодических потоков.

Склоны южной экспозиции часто обнажены и носят на себе следы селей. Мягкие сланцы обладают незначительной водопроницаемостью. Благодаря наличию в рельефе местных расширений, эта область является областью аккумуляции мощных толщ мелко раздробленного материала и интенсивного стока взвешенных наносов. Характер сланцев резко отражается на стоке наносов. В области слабо разрушающихся сланцев (западная часть района), в стоке наносов преобладают донные, в области мягких сланцев (восточная часть района) взвешенные частицы.

Еще более ярко выраженное периферическое расположение в районе имеют осадки мелового периода, сплошной полосой окаймляющие юрские отложения с севера и достигающие наибольшего развития в известняковой области Северного Дагестана.

В нижнем отделе мела на территории района преобладают песчано-глинистые отложения: мергели, песчаные глины — породы в общем легко разрушающиеся и размывающиеся, что приводит к образованию и накоплению мелкораздробленных продуктов распада, легко переносимых реками во взвешенном состоянии, а в рельефе создает мягкие формы пониженных областей. Исключением является известняково-доломитовая толща верхней свиты Валанжинского (нижнего) яруса, образующая в рельефе резко выраженные высокие гребни [18]. В щебнистом и грубообломочном делювии известняков и песчаников верхней юры и нижнего мела отдельные глыбы породы достигают нескольких метров в поперечнике. Известняками нижнего мела сложены главным образом северные склоны Скалистого хребта.

Все ярусы верхнего мела, представленные свитой белых слоистых известняков, только в некоторых слоях чередующихся с более мягкими сероватыми мергелями, являются толщей пород более прочных, чем подстилающие и покрывающие их породы. Как и верхнеюрские, известняки верхнего мела очень стойки против внешних влияний и медленно поддаются размыву. За счет пород верхнего мела (и верхней юры) образуются наиболее значительные скопления щебнистого и глыбового делювия. Во время интенсивных дождей неустойчивый делювий крутых склонов нередко быстро сползает сплошной каменной массой, отчего поверхностное распространение мощных слоев делювия невелико. У подножия же отвесных склонов, в особенности в устьях крупных балок, мощность делювия достигает десятков метров.

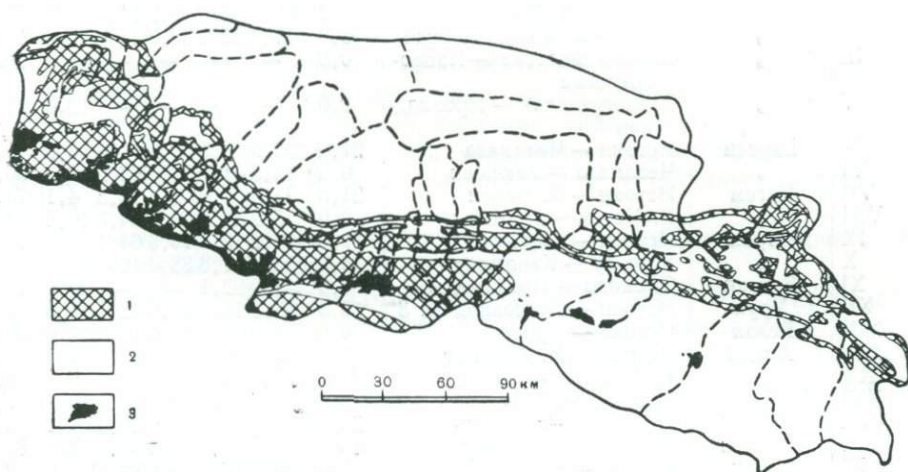
В течение нескольких лет сток наносов в горном Дагестане изучался Д. И. Абрамовичем. Вот, что он пишет по этому поводу: «...продукт выветривания известняков (имеются в виду известняки верхнего мела. — А. К.), поступаая в реку Сулак в виде валунно-галечной крупности, перетирается рекой значительно медленнее (мергелей. — А. К.), образуя, главным образом, донные наносы» [1, стр. 113]. Карстовых явлений в области развития этих пород почти не наблюдается [18]. В западной части района известняками нижнего мела сложен хребет Джинал, далее на восток эти породы прослеживаются узкой полосой по склонам Черных гор в бассейнах всех левобережных и правобережных притоков Терека, расширяясь в бассейне Шаро-Аргуна, и наибольшего развития достигают в пределах Северного Дагестана, где эта толща прорезается Сулаком тремя ущельями: Ахатлинским, Черкейским и Миатлинским.

Нижние склоны гор и холмистых предгорий сложены мягкими, слабо сцементированными третичными отложениями, преобладающую роль в которых играют рыхлые сланцеватые и известняковистые глины, мергели, песчаники, глины, пески и конгломераты. В речных долинах местами имеют большое развитие аллювиальные террасы.

Приведенное краткое описание литологического состава пород, с точки зрения степени их разрушаемости и размываемости, позволило условно разбить встречающиеся на территории района породы на две группы. Для более дробного деления данных нет. К одной из них отнесены твердые породы, медленно разрушающиеся и плохо размывающиеся, к другой — более мягкие, рыхлые породы, быстро разрушающиеся и легко поддающиеся размыву. Приближенное размещение групп относительно исследуемых участков показано на схеме (фиг. 8).

К первой группе (эрозионно-устойчивых пород) отнесены все кристаллические породы, темные, аспидные сланцы нижнего и среднего лейаса (западной части района), мощные толщи известняков верхней

юры, Валанжинского яруса нижнего мела и известняки верхнего мела, слагающие наиболее повышенные части рельефа и в стоке твердых наносов представляющие главным образом их донную часть. Ко второй группе (эрозионно-неустойчивых пород) отнесена вся сланцево-песчаная толща юры, в том числе и сланцы нижнего и среднего лейаса (восточной части района, расположенной восточнее Ассы), песчано-глинистая толща нижнего мела (кроме Валанжинского яруса), а также



Фиг. 8. Схема литологических областей:

1 — область распространения эрозионно-устойчивых пород; 2 — область распространения эрозионно-неустойчивых пород; 3 — ледники.

отложения третичного и четвертичного периодов, слагающие пониженные части рельефа и в стоке твердых наносов представляющие главным образом их взвешенную часть.

В табл. 7 приведены данные, характеризующие развитие пород обеих групп на территории каждого изучаемого участка в процентах от общей площади участка, с вычетом площади ледников. Обмеры производились планиметром по карте, составленной в масштабе 1 : 500 000.

Вертикальная климатическая зональность района (см. ниже), вызывая изменения процессов почвообразования, определила и соответствующую смену почвенных типов. В изучаемом районе, по мере нарастания высот, увеличения влажности и понижения температуры, в общем виде имеет место следующий вертикальный ряд почвенных зон: черноземы, каштановые почвы, южные лесные буроземы, горноподзолистые почвы, выше границы леса сменяющиеся горно-луговыми почвами. Эта общая принципиальная схема осложняется различием местных физико-географических особенностей отдельных частей района, обуславливающих прерывистое пространственное распределение почвенных зон.

Большое значение приобретает общая (с северо-запада на юго-восток) протяженность склона, а отсюда и значительные различия климатических режимов отдельных частей района. В этом отношении на территории района выделяются три области, каждой из которых соответствует свой порядок смен вертикальных почвенных зон: западная, центральная и восточная.

В Центральной области развитие почвенно-растительного покрова происходит в условиях большей (по сравнению с другими областями) мезофитности климата, обуславливающей также широкое развитие

Таблица 7

Количественная характеристика литологического, почвенного и растительного покровов
(в %)

№№ водосборных участков	Река	Местоположение участка (от — до)	Площадь под ледниками	Литология		Почвы		Лес	
				А	Б	А	Б	А	Б
I	Малка	Истоки — Хабаз	6,2	59,8	34,0	49,8	44,0	8,2	85,6
II	"	Хабаз — Каменноостская	0,0	57,8	42,2	86,0	14,0	0,0	100
III	"	Каменноостская — Павлоградская	0,0	—	—	—	—	0,0	100
IV	"	Павлоградская — Прохладная	0,0	—	—	—	—	18,6	81,4
V	Баксан	Истоки — Чаалмала	21,9	77,6	0,5	0,0	78,1	6,6	71,5
VI	"	Чаалмала — Заюково	0,2	58,8	41,0	61,6	38,2	13,3	86,5
VII	Чегем	Истоки — В. Чегем	21,8	77,6	0,6	2,4	75,8	4,1	74,1
VIII	"	В. Чегем — Н. Чегем	0,0	55,2	44,8	65,7	34,3	16,4	83,6
IX	Черек	Истоки — Кара-су	19,4	71,2	9,4	16,5	64,1	6,7	73,9
X	"	Кара-су — Кашкатау	15,0	73,2	11,8	38,4	46,6	16,1	68,9
XI	Баксан	Заюково — Прохладная	0,0	7,9	92,1	—	—	23,6	76,4
XII	Урух	Истоки — Лесозавод № 3	13,8	67,3	18,9	43,5	42,7	18,3	67,9
XIII	Белая	Истоки — Урсдон	0,0	65,9	34,1	89,3	10,7	71,0	29,0
XIV	Ардон	Истоки — Н. Заромаг	3,2	63,1	28,7	43,2	53,6	5,0	91,8
XV	"	Н. Заромаг — Тамиск	10,6	75,6	13,8	48,2	41,2	6,9	82,5
XVI	Фиадгон	Истоки — Гусра	5,6	66,4	28,0	63,6	30,8	16,6	77,8
XVII	Гизельдон	Истоки — В. Кобань	22,5	64,3	13,2	54,0	23,5	15,5	62,0
XVIII	Геналдон	Истоки — Тменикау	48,1	56,9	0,0	17,4	89,5	0,0	56,9
XIX	Терек	Истоки — Казбек	7,4	46,0	46,6	0,0	92,6	0,0	92,6
XX	"	Казбек — Дзауджикау (без Армхи)	7,6	69,6	22,8	42,3	50,1	17,8	74,6
XXI	Армхи	Истоки — Джейрах	1,7	84,0	14,3	8,0	90,3	17,1	81,2
XXII	Камбилеевка	Истоки — Ольгинское	0,0	34,0	66,0	93,4	6,6	56,7	43,3
XXIII	Терек	Дзауджикау — Эльхотово	0,1	7,9	92,0	79,6	20,3	24,0	75,9
XXIV	"	Эльхотово — Котляревская	5,8	—	—	—	—	21,0	73,2
XXV	"	Котляревская — Моздок	—	—	—	—	—	—	—
XXVI	Асса	Истоки — Хайрах	1,0	76,3	22,7	0,0	99,0	16,4	82,6
XXVII	"	Хайрах — Н. Алкун	0,0	58,4	41,6	31,2	68,8	—	33,7
XXVIII	"	Н. Алкун — Нестеревская	0,0	1,6	98,4	97,8	2,2	63,0	37,0
XXIX	Сунжа	Истоки — Карабулакская	0,0	0,4	99,6	98,1	1,9	36,7	68,3
XXX	"	Карабулакская — Грозный	0,0	13,0	87,0	69,9	30,1	54,3	45,7
XXXI	"	Грозный — Брагуны	0,0	—	—	69,0	31,0	10,0	90,0
XXXII	Терек	Моздок — Амираджи-Юрт	—	—	—	—	—	—	—
XXXIII	Аргун	Истоки — Шатой	0,8	13,0	86,2	20,5	78,7	23,0	76,2
XXXIV	"	Шатой — Дуба-Юрт	3,2	36,1	60,7	44,2	52,6	47,7	49,1
XXXV	Джалка	Истоки — Джалка	0,0	2,5	97,5	55,2	44,8	55,3	44,7
XXXVI	Гудермес	Истоки — Гудермес	0,0	10,0	90,0	81,9	18,1	49,3	50,7
XXXVII	Андийское-Койсу	Истоки — Тлох	1,0	12,0	87,0	0,8	98,2	15,0	84,0
XXXVIII	"	Тлох — Чиркаты	—	—	—	—	—	—	—
XXXIX	Аварское-Койсу	Истоки — Голотль	0,5	1,3	98,2	0,0	99,5	16,5	83,0
XL	Кара-Койсу	Истоки — Гергебиль	0,5	3,9	95,6	5,4	94,1	3,6	95,9
XLI	Казикмухское-Койсу	То же	0,2	11,2	88,6	13,0	86,8	0,0	99,8
XLII	Аварское-Койсу	Голотль — Балаханский мост	0,0	35,1	64,9	6,5	93,5	0,0	100,0
XLIII	Сулак	Балаханский мост — Миатлы — Чиркаты	0,0	48,6	51,4	10,1	89,9	14,5	85,5

Примечание. Площади ледников подсчитаны по материалам: Б. Д. Зайкова [9] и Волно-энергетической схемы Северного Кавказа [3], с учетом некоторых ведомственных данных и карт.

А — площади эрозионно-неустойчивых пород, почв и безлесные в процентах от общей площади участка с вычетом ледников.

Б — площади эрозионно-устойчивых пород, почв и покрытые лесом в процентах от общей площади участка с вычетом ледников.

лесов. В западной области, где мезофитный тип климата выражен слабее, наблюдается большее иссушение почв и резкое уменьшение (до полного исчезновения) лесов. Наиболее континентальным горным климатом характеризуется территория внутреннего горного Дагестана, где ярко выражены горно-полупустынные и горно-степные условия почвообразования.

Верхняя граница развития почвообразовательных процессов тесно связана с расположением снеговой линии, которая в восточной дагестанской части района повышается и почвообразовательные процессы начинаются здесь на высоте 3900 м, тогда как в западной части они почти заканчиваются уже на высоте 2800 м. С повышением снеговой линии связана также и общая меньшая увлажненность почв, поэтому с запада на восток наблюдается увеличение ксероморфности почв, что делает почвы восточной части района менее устойчивыми против размывающего действия воды.

Рассмотрим в самых общих чертах главные типы почв района в свете противозерозионной их устойчивости.

На самых больших высотах района (3200—2400 м), непосредственно за снеговой линией, пятнами между скал и каменистых россыпей развиты альпийские горно-луговые почвы под низкотравными лугами и пустошами, характеризующиеся своей маломощностью и хрящеватостью. Большая крутизна склонов в области развития этих почв ведет к их значительному площадному смыву.

Ниже (2400—1200 м) на элювии сланцев и главным образом известняков развиты субальпийские горно-луговые почвы под высокотравными лугами — почвы относительно более мощные и менее каменистые. Мощный растительный покров создает большую задернованность этих почв и способствует их сохранности. В ненарушенном состоянии почвы этого типа наименее подвержены смыву и очень устойчивы против эрозии, при длительном же выпасе скота на них развивается так называемая «тропинковая» эрозия, влекущая за собой интенсивный смыв и часто полное разрушение почвенного покрова.

В верхних частях бассейнов многих рек района, на нижних участках склонов долин, небольшими площадями развиты горно-лесные и подзолистые почвы под высокогорными хвойными лесами. Эти почвы слабо развиты, часто хрящеваты, имеют слабую дернину и подстилку, относительно легко разрушающуюся водой.

В центральной части района, на меньших высотах (300—1800 м, 1100—2350 м), на элювии желто-бурых суглинков, глин, известняков и глинистых сланцев развиты горно-лесные бурые почвы под низкогорными широколиственными лесами. Территориально развитие этих почв совпадает с областью развития «Черных гор». Леса на значительной части этой области в течение многих лет подвергались массовой вырубке, что привело к развитию селеносных явлений и к почти полному смыву почв с крутых склонов значительных территорий восточной части этой области.

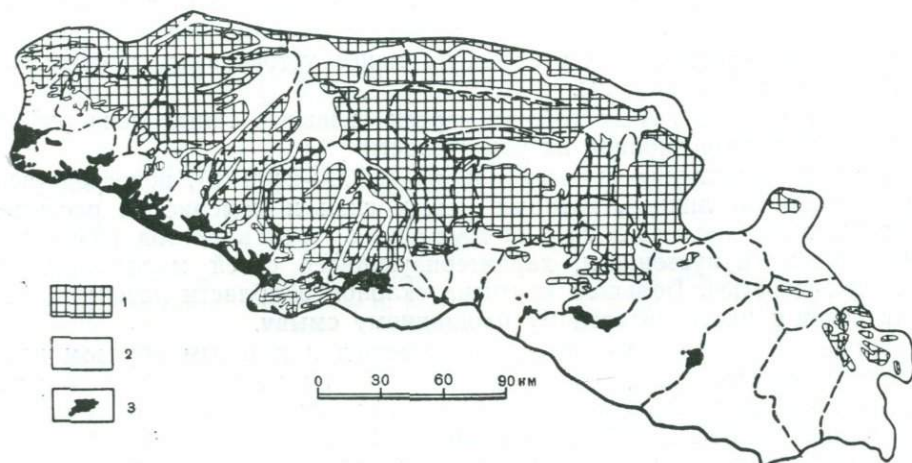
Узкими полосами в поймах среднего течения некоторых рек, а в Дагестане — на водораздельных плато (1500—2000 м), распространены горно-степные черноземные почвы под лугово-болотной растительностью и пашнями. Почвы эти хрящеваты и формируются на различных породах (желто-бурых суглинках и др.).

На больших площадях северной предгорно-равнинной части района, на лёссовидных суглинках широко развиты предкавказские

черноземы, отличающиеся наибольшей прочностью структуры, а следовательно, и наибольшей устойчивостью по отношению к эрозии [21].

В предгорной полосе восточной части района (1800—2000 м) бурые лесные почвы переходят на севере в горно-каштановые под сухостепной растительностью.

При помощи почвенной карты масштаба 1 : 500 000, составленной С. В. Зонном, и в соответствии с приведенными выше соображениями относительно противоэрозионной устойчивости отдельных типов почв, нами была составлена в том же масштабе схематическая карта, на которой типы почв района (так же, как и литологического состава пород) были условно разделены на две группы (фиг. 9).



Фиг. 9. Схема почвенных областей:

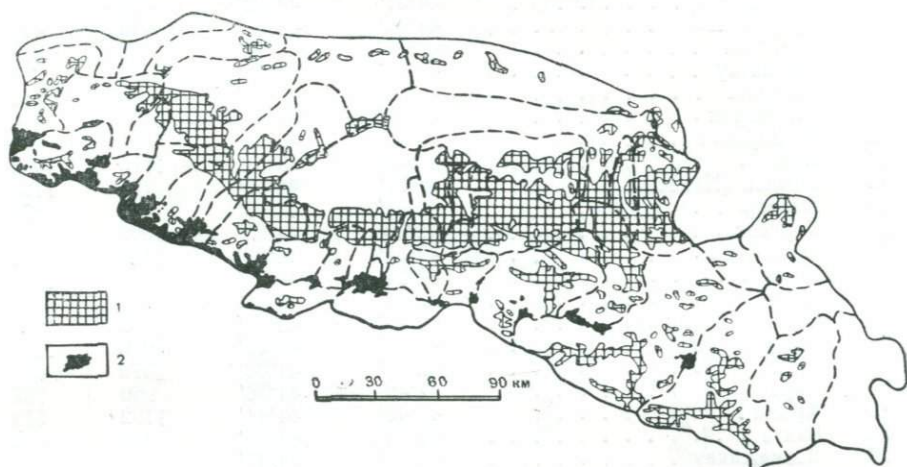
1 — область распространения эрозионно-устойчивых почв; 2 — область распространения эрозионно-неустойчивых почв; 3 — ледники.

К первой группе (эрозионно-устойчивых почв) отнесены хорошо развитые мощные, хорошо задернованные растительностью горно-луговые почвы под высокотравными субальпийскими лугами, лесные бурые почвы под широколиственными лесами и предкавказские черноземы. Ко второй группе (эрозионно-неустойчивых почв) отнесены главным образом все маломощные, слаборазвитые каменисто-хрящеватые горно-луговые почвы под альпийскими лугами, горно-лесные под высокогорными хвойными лесами, горно-степные черноземные и горно-аллювиальные почвы речных долин.

Путем планиметрирования составленной таким образом карты для каждого участка были получены данные о площадях, на которых развиты плохо (или легко) размывающиеся почвы, в процентах от общей площади участка (без площади ледников). Результаты обмеров приведены в табл. 7.

К числу особенностей в развитии растительного покрова района относится очень слабое развитие лесов (местами до полного их отсутствия) в западной части и значительная облесенность центральной части района, между Баксаном и Аксаем, на высотах 500—1700 м. На восток от Аргуна леса приобретают все большие ксерофитные признаки и носят все более нарушенный характер. На территории внутреннего Дагестана лесов почти нет, растительность носит ярко выраженный засухо-устойчивый характер, и только в верховьях Аварского и Андий-

ского-Койсу, на высотах от 1400 до 2300 м на северных склонах долин размещены небольшие массивы сосновых лесов на слабо развитых и, как сказано выше, легко размывающихся горно-лесных подзолистых почвах. Есть отдельные указания на то, что в прошлом здесь было значительно больше лесов [11]. В предгорной полосе Дагестана, где значительные площади почв под лесом подстилаются известняковыми породами, леса в настоящий момент почти полностью сведены и район этот является ареной действия ускоренной эрозии. Колоссальные величины мутностей рек на участках (XXXIV, XXXVI, XLIII и другие) восточной части исследуемого района являются убедительным доказательством наличия здесь усиленных эрозионных процессов.



Фиг. 10. Схема размещения лесных массивов:

1 — массивы леса (эрозионно-устойчивые области); 2 — ледники, незаштрихованные территории безлесны.

За неимением данных, точного количественного учета площадей, покрытых лесом,¹ произвести не удалось, однако в первом приближении для каждого участка были подсчитаны площади, находившиеся под лесом (и свободные от него) к моменту составления карты, в процентах от общей площади участка. Результаты обмера и подсчета площадей леса приведены в табл. 7. Области распространения лесных массивов схематично показаны на фиг. 10.

Климатические особенности отдельных частей исследуемого района складываются под совокупным влиянием общей циркуляции воздушных масс и местных воздушных течений, связанных с орографией района. Рельеф, коренным образом видоизменяя циркуляцию атмосферы в нижних слоях, препятствует свободному перемещению воздушных масс и обуславливает вертикальную климатическую зональность района. В процессе денудации горных пород наибольшее значение из климатических элементов приобретают температурный режим и осадки (их количество, распределение в году, характер выпадения).

Климатические условия района изучаются 67 метеорологическими станциями (фиг. 11), размещенными очень неравномерно по долинам среднего и нижнего течения наиболее крупных рек района. Наибольшее число станций сгруппировано в центральной части района.

¹ Другие типы растительности в настоящей работе не рассматриваются из-за отсутствия соответствующего картографического материала.

Таблица 8

Осадки, приведенные к периоду 1891—1935 гг.
(Таблица составлена по неопубликованным данным О. А. Дроздова)

№№ метеорологических станций	Названия станций	Координаты		Высота (в м)	Осадки (в мм)
		широта	долгота		
1	Бермамыт	43°42'	42°26'	3586	590
2	Кисловодск	43°54'	42°43'	821	599
3	Усенги	43°15'	42°36'	1870	654
4	В. Баксан	43°19'	42°45'	1709	394
5	Н. Чегем	43°30'	43°18'	1000	534
6	Баксан	43°41'	43°32'	462	475
7	Проходная	43°46'	44°00'	243	433
8	В. Чегем	43°08'	43°28'	1165	357
9	Кашкатау	43°19'	43°37'	687	613
10	Нальчик	43°28'	43°36'	503	615
11	Ст. Черек	43°28'	43°50'	375	504
12	Н. Заромаг	42°42'	43°58'	1695	644
13	Шей	42°48'	43°54'	1910	1003
15	Тамиск (Нахас)	42°57'	44°12'	720	1123
16	Алагир	43°02'	44°13'	640	870
17	Даргавс	42°50'	44°26'	1300	501
18	В. Кобань	42°54'	44°28'	1100	674
19	Коби	42°34'	44°31'	1997	1069
20	Сиони	42°36'	44°35'	1829	698
21	Казбеги (нижн.)	42°40'	44°39'	1712	652
22	Казбеги (высок.)	42°41'	44°32'	3900	1258
23	Гвилеты	42°43'	44°38'	1370	606
24	Ларс	42°48'	44°38'	960	737
25	Армхи	42°48'	44°44'	1192	618
26	Балта	42°56'	43°38'	823	908
27	Дзауджикау	43°02'	44°41'	691	837
28	Муртазово	43°29'	44°08'	254	483
29	Котляревская	43°38'	44°07'	214	443
30	Моздок	43°45'	44°38'	131	468
31	Назрань	43°15'	44°49'	524	565
32	Слепцовская	43°19'	45°03'	315	503
33	Карабулакская	43°18'	44°54'	380	660
34	Наурская	43°39'	45°19'	85	369
36	Калиновская	43°35'	45°31'	65	410
37	Ахиели	42°40'	44°56'	1810	880
38	Пуй	42°48'	44°56'	1142	538
39	Грозный	43°19'	45°42'	130	489
40	Шатой	42°53'	45°42'	610	549
41	Воздвиженская	43°06'	45°44'	300	626
42	Ведено	42°58'	46°07'	550	845
43	Гудермес	43°21'	46°08'	56	437
44	Парабоч	43°27'	46°18'	25	511
45	Шелкозаводская	43°29'	46°18'	12	389
48	Койская казарма	42°46'	46°08'	1615	499
49	Хасав Юрт	43°16'	46°35'	115	480
50	Ботлих	42°40'	46°14'	700	478
51	Тлох	42°41'	46°28'	582	462
52	Дылым	43°04'	46°38'	567	710
53	Сулак (высокогорн.)	42°22'	46°15'	3100	1023
54	Гидатлинская	42°23'	46°31'	2000	513
55	Кумух	42°10'	47°08'	1600	527
57	В. Гуниб	42°24'	46°54'	1585	573
58	Леваши	42°26'	47°20'	1160	443
59	Хунзах	42°33'	46°43'	1995	569
60	Унцукуль	42°43'	46°48'	—	439
61	Алексеевское	42°51'	46°58'	800	510
62	Буйнакск	42°49'	47°07'	471	466
63	Чиркей	42°59'	46°53'	60	363

Продолжение таблицы 8

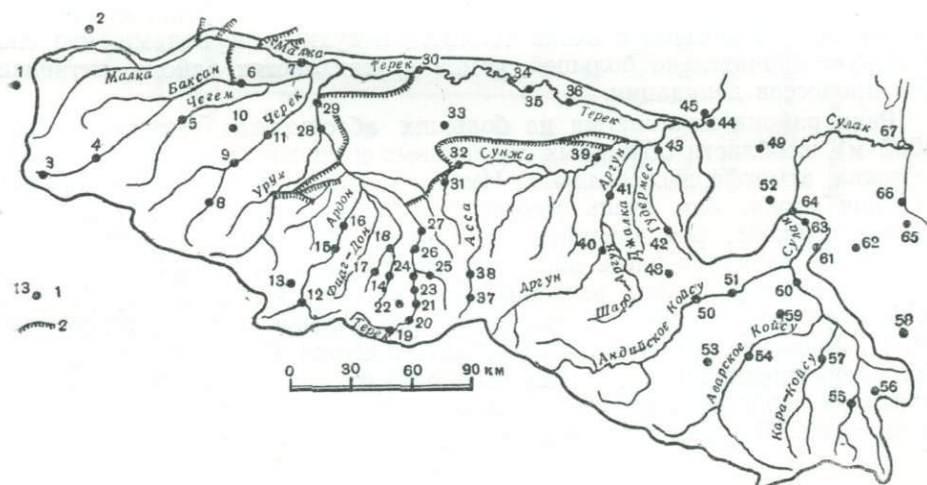
№№ метеорологических станций	Названия станций	Координаты		Высота (в м)	Осадки (в мм)
		широта	долгота		
64	Миатлы	43°06'	46°51'	около 100	395
65	Талги	42°52'	47°27'	601	407
66	Махач-Кала	43°00'	47°30'	34	430
67	Сулак-Устье	43°20'	47°30'	—	313

В табл. 8 даны количества осадков, приведенные О. А. Дроздовым к периоду 1891—1935 гг., для каждой станции. Представление о температурном режиме на территории района дает табл. 9.

Таблица 9

Годовая амплитуда температуры

Номера станций	Названия станций	Высота над уровнем моря (в м)	Годовая амплитуда колебаний среднемесячных температур воздуха (в градусах)
3	Усенги	1870	22,2
7	Прохладная	243	28,2
10	Нальчик	503	25,9
12	Н. Заромаг	1695	22,0
16	Алагир	640	25,9
19	Коби	1997	22,2
27	Дзауджикау	691	24,8
39	Грозный	130	28,8
41	Воздвиженская	300	26,9
49	Хасав-Юрт	115	27,1
50	Ботлих	700	24,9
53	Сулак (высокогорная)	3100	21,3
57	В. Гуниб	1585	19,8
59	Хунзах	1995	22,2
62	Буйнакск	471	25,5



Фиг. 11. Схема расположения метеорологических станций:

1 — метеорологические станции; 2 — оросительные каналы.

Примечание. Номера станций соответствуют номерам табл. 8.

Как в равнинной, так и в горной части района, осадки в общем убывают с запада на восток и увеличиваются с севера на юг по мере поднятия местности.

Температурные изменения протекают в обратном направлении. С климатической точки зрения район довольно резко делится на западную (бассейн Терека) более влажную и прохладную и восточную (бассейн Сулака) значительно более сухую и теплую части, с присущей каждой из них вертикальной зональностью.

Общая закономерность, однако, нарушается в областях замкнутых котловин и депрессий, где влажность сильно падает и климат принимает засушливый характер. Такими же признаками засушливости отличаются в исследуемом районе склоны южной и юго-восточной экспозиций, на которых разрушение горных пород идет значительно интенсивнее, чем на других склонах. В связи с этим южные склоны гор района в большинстве случаев скалисты, покрыты осыпями и часто совершенно лишены почвенного и растительного покрова.

При общем увеличении осадков в направлении с северо-востока на юго-запад, в районе наблюдается большая неравномерность в их распределении, тесно увязывающаяся с характером рельефа района: резкое снижение осадков в районе северной депрессии и в некоторых других местах.¹ Восточная высокогорная область по сравнению с остальной высокогорной областью района является более сухой. Западная высокогорная область в этом отношении, как и по ряду других естественных условий, занимает среднее положение в районе. Анализ исходных материалов в виде средних месячных количеств осадков приводит к выводу, что почти по всей территории района наибольшее количество осадков выпадает в июле, совпадая, таким образом, с периодом максимальных средних месячных температур.

Распределение осадков в течение года на территории района очень неравномерно. За теплый период года в среднем выпадает около 85% годового количества осадков, причем характер выпадения их свидетельствует о том, что весь район исследования в той или иной мере подвержен ливневого характеру выпадения осадков.

Ливни большой интенсивности на территории внутреннего Дагестана чередуются обычно с очень теплыми и сухими периодами, что способствует значительно большей, чем в других частях района, активизации процессов денудации.

Реки района начинаются на больших абсолютных высотах (2000—3000 м), в области обширных ледниковых и снежных полей и наиболее высоких атмосферных осадков. Имея в общем весьма благоприятные условия стока, они очень многоводны и отличаются ярко выраженными чертами рек альпийского типа. За линией вечных снегов (3200 м — западная часть района, 3500 м — центральная, 3600 м — восточная) аккумулируется основной фонд «твердой» влаги, поддерживающий и регулирующий водность рек района. По классификации М. И. Львовича [15], все левобережные притоки Терека являются реками преимущественного ледникового питания. Для правобережных его притоков характерно смешанное питание с преобладанием грунтового и дождевого. Питание рек бассейна Сулака (табл. 10) также относится

¹ Следует заметить, что распределение осадков в горных частях района нередко значительно нарушается микроусловиями рельефа, местными ветрами и т. п. Так, наблюдения ГИИ в бассейне р. Адыл-су (р. Баксан) показали, что высота слоя осадков на одном склоне долины в пределах весьма малого бассейна может быть в десять раз меньше или больше, чем на другом.

Характеристика некоторых типичных рек района

Река	Пункт	Координаты		Площадь бассейна на 1 км ²	Средняя высота бассейна 1 м	Среднегодовой сток (в л/сек)	Оледенение (в %)	Источники питания (в %)				Распределение стока по сезонам (в %)			
		широта	долгота					подземное	снеговое	дождевое	ледниковое	весна	лето	осень	зима
Малка	Каменномостское	43°44'	43°04'	1600	1980	8,9	0,1	28	9	36	27	22	42	22	12
Баксан	Кызбурун	43°39'	43°23'	2180	2290	15,4	7,8	26	5	22	47	12	57	23	8
Белая	Урсдон	43°06'	44°04'	315	1440	21,0	—	33	20	47	—	28	38	22	12
Ардон	Тамиск	42°58'	44°13'	1040	2410	28,8	7,0	33	5	22	40	21	54	18	7
Гизельдон	В. Кобань	42°55'	44°28'	147	2240	23,5	22,5	30	3	33	34	11	59	22	8
Геналдон	Тменикау	42°49'	44°30'	59	3175	40,7	43,1	31	2	21	46	10	61	21	8
Терек	Казбек	42°40'	44°39'	855	2875	28,8	7,4	31	11	21	37	19	52	20	9
Сунжа	Грозный	43°19'	45°42'	4750	805	7,3	0,1	66	5	21	8	27	39	21	13
Асса	Н. Алкун	42°59'	45°01'	697	2130	22,4	0,8	50	7	22	21	18	49	22	11
Чанты-Аргун	Шатой	42°53'	45°41'	1700	2020	16,6	0,8	41	8	24	27	20	49	22	9
Сулак	Миатлы	43°05'	46°50'	13070	1190	13,6	0,6	32	34	24	10	24	49	20	7

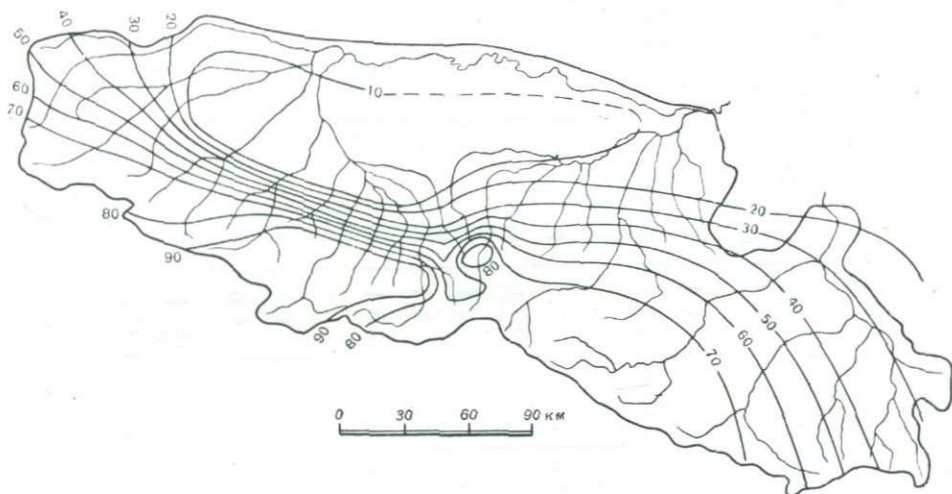
Примечания. 1. Таблица составлена по материалам Б. Д. Зайкова [9], М. И. Львовича [15] и «Материалам по режиму рек СССР» [16].

2. По р. Малке данные граф «Источники питания» приведены для створа «Прохладная».

к смешанному типу (талые снеговые и ледниковые воды, дождевые осадки и грунтовые воды).

Весенние дожди ускоряют таяние и дают высокие паводки. Основной причиной летнего половодья в бассейне Сулака являются дождевые (ливневые) осадки, совмещенные с высокогорными талыми водами. В бассейне Терека весьма важным фактором летних высоких вод служат ледниковые воды. Наиболее равномерным распределением стока в году отличается р. Малка.

Более 50% стока р. Терек и его притоков проходит за летний сезон, минимальный сток (8—10%) наблюдается зимой, остальная же часть



Фиг. 12. Изолинии коэффициента стока (в %).

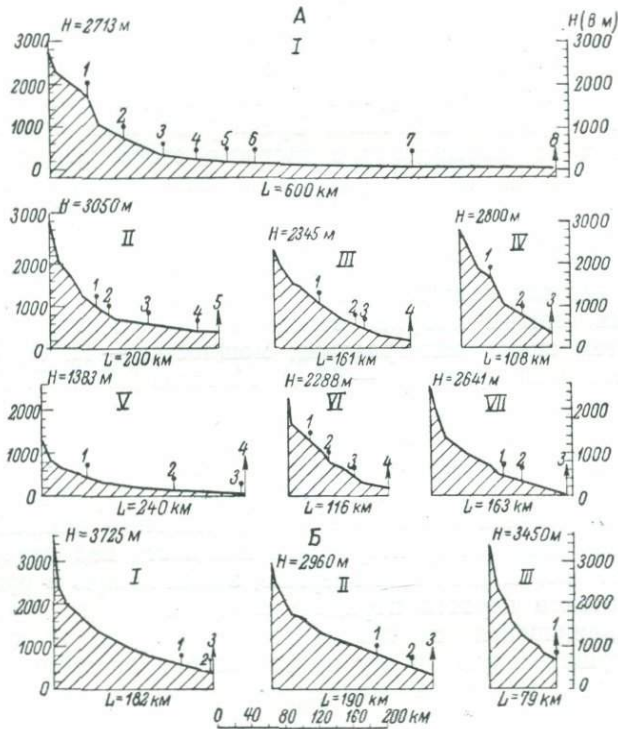
стока сравнительно равномерно распределяется между весной и осенью. Причиной такого распределения стока по сезонам является влияние мощного оледенения. В отличие от рек бассейна Терека, в бассейне р. Сулак наблюдаются значительные, обособленные осенние пики, вызываемые дождевыми осадками.

Обилие жидких и твердых осадков в высокогорной части района, их интенсивность, незначительное испарение, большая крутизна склонов и большие уклоны речных долин, а также слабый растительный покров, приводят к очень высоким коэффициентам стока (0,80—0,90) и модулям стока, достигающим 50 л/сек в средний год. Модули стока, тесно связанные с распределением осадков, уменьшаются с юго-запада на северо-восток.

В этой общей закономерности, на территории исследуемого района выделяются районы разной зависимости стока от высоты. Наименьшие абсолютные значения модулей стока сосредоточены на крайнем востоке высокогорной области района, в бассейнах Кара-Койсу и Казикумухско-Койсу, наибольшие — в области лесистых гор и северных склонов Скалистого хребта [8].

Произведенный нами подсчет свидетельствует о том, что величины коэффициента стока, так же как и модули стока, увеличиваются с высотой места, причем наибольших абсолютных значений (около 100%) они достигают в центральной части высокогорной области, ограниченной

бассейнами рек Уруха и Терека, где почти вся выпадающая влага стекает.¹ Наименьшие значения коэффициента стока отмечаются в северной низменной части района, в области восточных передовых хребтов и молодых наклонных равнин (фиг. 12).



Фиг. 13. Схематические продольные профили типичных рек района.

Составлено по данным ВЭС Северного Кавказа [3].

А — бассейн р. Терека:

I — р. Терек: 1 — Казбек; 2 — Дзауджикау; 3 — Эльхотово; 4 — Котляревская; 5 — Черноярская; 6 — Моздок; 7 — Амираджи-Юрт; 8 — Каспийское море. II — р. Малка: 1 — Хабаз; 2 — Каменноостокское; 3 — Павлоградский; 4 — г. Прохладный; 5 — р. Терек. III — р. Баксан: 1 — Чаалмала; 2 — Заюково; 3 — Кызбурун; 4 — р. Малка. IV — р. Ардон: 1 — Н. Заромаг; 2 — Тамиск; 3 — Терек. V — р. Сунжа: 1 — Карабулакская; 2 — г. Грозный; 3 — Брагуны; 4 — р. Терек. VI — р. Асса: 1 — Хайрах; 2 — Н. Алкун; 3 — Нестеровская; 4 — р. Сунжа. VII — р. Аргун: 1 — Шатой; 2 — Дуба-Юрт; 3 — р. Сунжа.

Б — бассейн р. Сулака:

I — р. Андийское-Койсу: 1 — Тлох; 2 — Чиркаты; 3 — Аварское-Койсу. II — р. Аварское-Койсу: 1 — Голотль; 2 — Балаханский мост; 3 — Андийское-Койсу. III — р. Казикумухское-Койсу: 1 — Гергебиль; 2 — Кара-Койсу.

Продольные профили рек района с большим количеством крутых перепадов говорят о сравнительно молодой стадии развития речных долин и о бурной разрушительной работе рек (фиг. 13). Величины уклонов отдельных участков течения рек в горной части варьируют от 0,25 до 0,015, в предгорных — от 0,010 до 0,003 [3].

¹ Следует заметить, что величины коэффициента стока, приведенные в «Справочнике по водным ресурсам СССР» [22, стр. 792], для предгорной и низменной частей района сильно завышены.

Приведенное краткое описание природных условий свидетельствует о том, что район исследования, имея большое разнообразие естественных условий, в то же время довольно четко делится на три более или менее обособленные части (запад, центр и восток) как в отношении климата, так и в отношении литологического состава пород, характера почв и растительности, причем западная часть по всем этим показателям занимает некоторое среднее положение.

Весь комплекс физико-географических естественных условий, в которых находится район, способствует значительному, как мы видели выше, насыщению рек твердыми наносами. Среди различных природных факторов, влияющих на формирование твердого стока рек, особую роль, по нашему мнению, играет разрушающая сила воды, т. е. мощность, развиваемая водой при ее движении по поверхности водосборного бассейна, или «гидроэнергетический модуль» бассейна.

Для подсчета работы воды при ее движении по поверхности бассейнов следовало бы для каждого участка построить интегральные характеристики стока (эпюры модулей стока) и рельефа (гипсографические кривые), а затем эпюру интегральных мощностей — Н. А. Григорович [7] или «энергетические фигуры» — М. А. Мостков [17] и Г. Г. Сванидзе [20].

Такой путь, однако, при современном уровне изученности модулей стока на исследуемой территории, особенно в ее высокогорных и горных районах, не может дать надежных результатов, упрощения же этих точных способов расчета дают весьма значительные ошибки [13]. Поэтому для относительной характеристики мощности вод изучаемых бассейнов мы учитываем ниже лишь энергию, заключенную в руслах основных рек и притоков первого порядка, вместо подсчета также энергии слоя воды, движущейся по поверхности бассейна и производящей основную разрушительную работу на территории бассейна.¹

Потенциальная мощность падающей воды (в квт) выражается формулой:

$$N = 9,8QH,$$

где Q — расход воды (в м³/сек),

H — высота падения воды, или напор (в м).

Для подсчета мощности рек приняты средние многолетние значения потенциальных мощностей соответствующих участков речных бассейнов по материалам «ВЭС Северного Кавказа» [3] для среднего расхода воды за 1928—1934 гг., с дополнениями, учитывающими запасы энергии притоков (первого и второго порядков) основных горных рек. Мощность этих притоков, согласно данным Энергетического отряда Кавказской комплексной экспедиции СОПС АН СССР, составляет около 20% от мощности основных рек для высокогорных районов и около 10% для предгорных районов.

В табл. 11 приведены гидроэнергетические модули, отнесенные к 1935 г., причем:

$$(M_{\text{Э}})_{1935} = (M_{\text{Э}})_{(1928-1934 \text{ гг.})} \cdot \frac{Q_{1935}}{Q_{(1928-1934 \text{ гг.})}}$$

¹ Энергия, заключенная в русле основной горной реки и ее притоков первого порядка, по данным энергетического отряда Кавказской комплексной экспедиции СОПС АН СССР, составляет около 30—35% от полной энергии вод, стекающих по поверхности всего бассейна [13].

Таблица 11

Потенциальная энергия рек района в пределах исследуемых участков

Л.№ водосборных участков	Река	Расход воды (в м ³ /сек)		Гидроэнергетический модуль М _э квт/км ²	
		средний за период 1928—1934 гг.	за 1935 г.	средний за период 1928—1934 гг.	за 1935 г.
I	Малка	11,19	9,8	92	74
II	"	2,31	3,0	47	59
V	Баксан	24,02	22,9	135	128
VI	"	8,98	9,5	134	140
VII	Чегем	9,65	10,1	110	116
VIII	"	2,99	2,8	238	224
IX } X }	Черек	40,50	39,0	298	286
XII	Урух	24,20	26,1	216	233
XIII	Белая	4,45	6,0	190	256
XIV	Ардон	16,28	15,8	69	66
XV	"	9,02	10,9	450	545
XVI	Фиэгдон	8,03	6,8	126	107
XVII	Гизельдон	3,21	3,0	193	164
XVIII	Геналдон	2,13	2,1	256	256
XIX	Терек	23,70	21,2	90	81
XX	"	6,30	5,8	1210	1110
XXI	Армхи	5,00	4,0	183	146
XXII	Камбилеевка	2,01	2,3	92	106
XXIII	Терек	31,24	86,1	144	166
XXVI } XXVII } XXVIII }	Асса	16,49	13,2	169	135
XXIX	Сунжа	3,31	2,3	16	11
XXXIII	Аргун	30,62	24,4	140	112
XXXIV	"	19,63	15,2	165	128
XXXV	Джалка	3,13	3,2	69	71
XXXVI	Гудермес	6,20	3,6	21	12
XXXVII } XXXVIII }	Андийское-Койсу	75,71	64,2	170	144
XXXIX } XL }	Аварское-Койсу	95,40	87,0	123	113
XLI } XLII }					
XLIII	Сулак	4,29	0,8	695	132

Примечание. Расходы за период 1928—1934 гг. взяты из «ВЭС Северного Кавказа» [3, стр. 453].

Из приведенных материалов видно, что наибольшую мощность на территории района вода развивает на участке XX (Терек между ст. Казбеги и Дзауджикау), где гидроэнергетический модуль равен 1110 квт/км² и на участке XV на р. Ардон (между ст. Н. Заромаг и Тамиск), где гидроэнергетический модуль равен 545 квт/км².

Таким образом, в результате специальной обработки собранных данных, был получен обширный материал, количественно характеризующий многие из природных явлений, протекающих на территории отдельных мелких участков бассейнов рек исследуемого района.

В процессе работы была также сделана попытка количественно охарактеризовать климатические условия изучаемых участков, путем определения степени континентальности климата и степени интенсив-

ности выпадения осадков, но, в силу малой надежности полученных данных, они не были использованы в окончательных расчетах и выводах.

Как и следовало ожидать, при графическом сопоставлении твердого стока, представленного в работе величинами модуля эрозии по взвешенным наносам, с данными какого-либо одного, отдельно взятого фактора, участвующего в формировании твердого стока данного участка и получившего количественную оценку, был получен не ряд точек, вытянутых в каком-либо определенном направлении, а рой беспорядочно разбросанных точек, что указывало на отсутствие зависимости и подтверждало положение о том, что однозначные связи в физико-географической среде, в сущности говоря, быть не может.

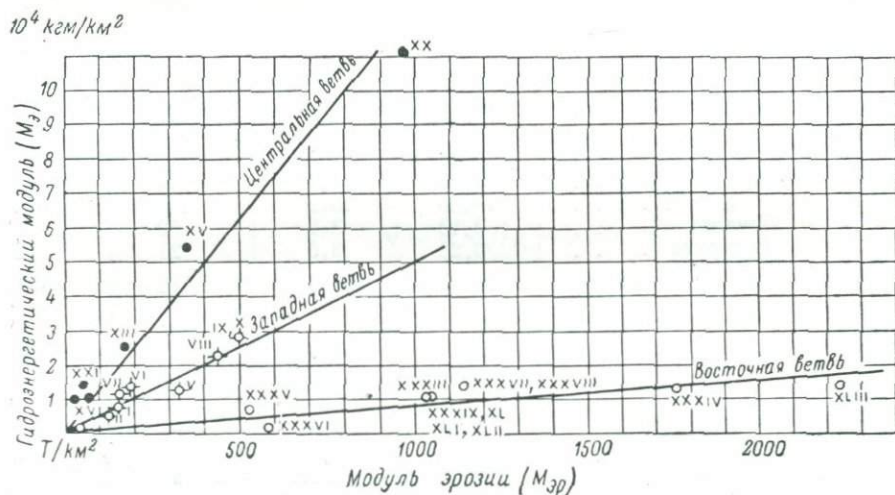
В большинстве случаев точки на графиках группировались по трем основным районам с различными физико-географическими характеристиками: западному (западные притоки Терека), центральному (верховья Терека с его ближайшими притоками) и восточному (правые притоки Терека к востоку от Ассы и бассейн Сулака).

Хороший результат для западного и восточного районов (по центру данных нет) дала зависимость $M_{эр} = f\left(\frac{\Phi}{F}\right)$,

где Φ — физическая поверхность участка,

F — площадь участка,

$\frac{\Phi}{F}$ — своего рода показатель изрезанности рельефа участка.



Фиг. 14. Вероятная зависимость модуля эрозии от гидроэнергетического модуля (1935 г.).

Ограниченность данных, к сожалению, не дала возможности сделать из этих построений определенных выводов. То же относится и к такому морфометрическому показателю, как средняя крутизна склона.

Близкой к функциональной получилась зависимость твердого стока от гидроэнергетического модуля, представленная на фиг. 14. Объясняется это, повидимому, тем, что в характеристике энергии речных вод, различные выражения которой:

$$N = a \int_H^0 QdH \text{ и } N = a \int_0^H mHdF,$$

в скрытом виде заключены влияния не одного, а по крайней мере двух естественных факторов: климата, функцией которого является расход воды Q (в м³/сек) или модуль стока m (в л/сек с 1 км²) и рельефа в виде падения H (в м).

Графический анализ выражения:

$$M_{эp} = f(M_э),$$

где $M_{эp}$ — модуль эрозии (в т/км²),

$M_э$ — гидроэнергетический модуль (в квт/км²),

показывает правильную линейную зависимость вида $y = kx$ интенсивности эрозии бассейна от энергетической мощности его вод при прочих равноценных условиях. Точки на этом графике расположены тремя группами, характеризующими запад, центр и восток исследуемого района. Для каждого из трех различных типов естественных условий, наблюдаемых в районе, представилось, таким образом, возможным установить количественную зависимость:

$$M_{эp} = \alpha M_э,$$

или, после умножения обеих частей равенства на F ,

$$g = \alpha N,$$

где g — вес наносов (в т),

N — потенциальная мощность (в квт),

α — коэффициент, определяющий главным образом почвенно-литологические условия района.

Пользуясь графиком (фиг. 14), для различных частей района можем найти: для запада $g \approx 2,0 N$, для центра $g \approx 0,8 N$ и для востока $g \approx 13,0 N$.

Значение коэффициента α в данном случае колеблется от 0,8 для бассейнов с прочной материнской основой (кристаллические горные породы и известняки) и со сравнительно устойчивым почвенно-растительным покровом (центральные участки района), до 13 — для бассейнов, поверхность которых сложена легко размываемыми горными породами (глинистыми сланцами, песчаниками, глинами, песками), со значительно нарушенным растительным покровом (восточные участки района).

Такая зависимость дает возможность, без трудоемких измерений на месте, приближенно оценивать величины смыва с поверхности бассейна (в тоннах) по данным о потенциальной мощности его вод (в киловаттах), которая может быть подсчитана достаточно точно для большинства рек СССР.

Эта зависимость может быть уточнена, если, кроме энергии линейного стока, заключенной в руслах основных рек и их главных притоков, учесть энергию поверхностного стока вод, т. е. полную «энергию территории».

Изучение условий поверхностной эрозии бассейнов рек Северного Кавказа и степени насыщенности их вод наносами имеет большое значение для выявления скорости заиления возможных на этих реках водохранилищ. Недостаточная изученность твердого стока рек Северного Кавказа приводила к значительным ошибкам в определении сроков заиления проектируемых водохранилищ, а следовательно, и к ошибочным прогнозам режима работы сооружаемых при них гидростанций. Так, например, при проектировании Гергебильского водохра-

нилища на р. Кара-Койсу (бассейн Сулака) скорость заиления его мертвого объема проектировалась примерно в 25 лет. Фактическое заиление мертвого объема этого водохранилища произошло в 3 года, а всего объема (мертвого и полезного) в 10—12 лет. Столь значительная ошибка в прогнозе заиления Гергемильского водохранилища лишила его какого бы то ни было регулирующего значения.

Для приближенного определения вероятной скорости заиления водохранилищ могут быть использованы приведенные выше зависимости $g = \alpha N$, при помощи которых годовой объем наносов, отлагающихся в водохранилище, может быть представлен в виде:

$$V_{\text{нан. год}} = \frac{1,2\alpha N_{\text{ср. год}}}{d},$$

где 1,2 — коэффициент, учитывающий кроме взвешенных также и донные наносы в размере 20% от взвешенных,

α — коэффициент, зависящий от природных условий бассейна,

$N_{\text{ср. год}}$ — потенциальная среднегодовая русловая мощность от истоков реки до створа плотины, увеличенная на 20% за счет русловой мощности боковых притоков,

d — объемный вес наносов т/м³ (в данном случае может быть принято $d \approx 2$).

Таким образом,

$$V_{\text{нан. год}} = 0,6\alpha N_{\text{ср. год}}.$$

Скорость заиления водохранилища составит:

$$t_{\text{лет}} = \frac{V_{\text{вод}}}{V_{\text{нан. год}}},$$

где $V_{\text{вод}}$ — объем водохранилища.

Таблица 12

Приближенные расчеты сроков заиления водохранилищ

Река	Водохранилище	Высота подпора (в м)	Полный объем водохранилища (в млн. м ³)	$N_{\text{ср. год}}$ (в тыс. квт)	α	$V_{\text{нан. год}} = 0,6\alpha N_{\text{ср. год}}$ (в тыс. м ³)	Срок заиления всего объема t лет	Необходимый мертвый объем из расчета заиления в 100 лет (в млн. м ³)
Ардон	Зароматское	128,0	420,0	39,2	0,8	19,0	22000	1,9
Чанты-Аргун	Цилахойское	128,5	227,0	92,5	13,0	722,5	315	72,2
" "	Шатойское	120,0	330,0	221,0	13,0	1730,0	191	173,0
Малка	Лагранское	104,0	80,0	84,0	2,0	100,0	800	10,0
Аварское-Койсу	Ирганайское	150,0	1995,0	720,0	13,0	5625,0	355	562,5
Кара-Койсу	Гергемильское	49,0	12,7	148,0	13,0	1160,0	11	116,0

В табл. 12 приведены данные о вероятных сроках заиления некоторых водохранилищ, запроектированных и построенных на реках бассейнов Терека и Сулака, вычисленных по вышеприведенным формулам.

¹ Русловая мощность от истока реки до створа плотины, по данным «ВЭС Северного Кавказа», увеличенная на 20% за счет неучтенной русловой мощности основных притоков.

Как видно из таблицы, скорость заиления Гергебильского водохранилища — 11 лет — точно совпадает с фактической скоростью его заиления.

Таблица 13

Примерная шкала перевода количественных показателей
естественных факторов в «баллы»

Балл	Количественные показатели естественных факторов			
	эрозионно-неустойчивые горные породы, почвы*	оледенение	безлесная площадь*	гидроэнергетический модуль (в квт/км ²)
1	<10	<2,5	<30	<60
2	10 — 20	2,5—5,0	30 — 37	60—120
3	20 — 30	5,0—7,5	37 — 44	120—180
4	30 — 40	7,5—10,0	44 — 51	180—240
5	40 — 50	10,0—12,5	51 — 58	240—300
6	50 — 60	12,5—15,0	58 — 65	300—360
7	60 — 70	15,0—17,5	65 — 72	360—420
8	70 — 80	17,5—20,0	72 — 79	420—480
9	80 — 90	20,0—22,5	79 — 86	480—550
10	90 —100	>22,5	86 —100	>550

* В процентах от полной площади участка без площади ледников.

В целях отыскания путей, которые могли бы дать возможность сопоставления величины твердого стока реки с комплексом формирующих его основных естественных факторов, была проведена дополнительная исследовательская работа, в результате которой наметился один из возможных в этом направлении путей, названный нами методом относительной оценки.

Совместный учет влияния нескольких факторов, как и следовало ожидать, представил значительные трудности, так как в таком виде этот вопрос никем не разрешался и никаких указаний о возможных путях его разработки нами найдено не было.

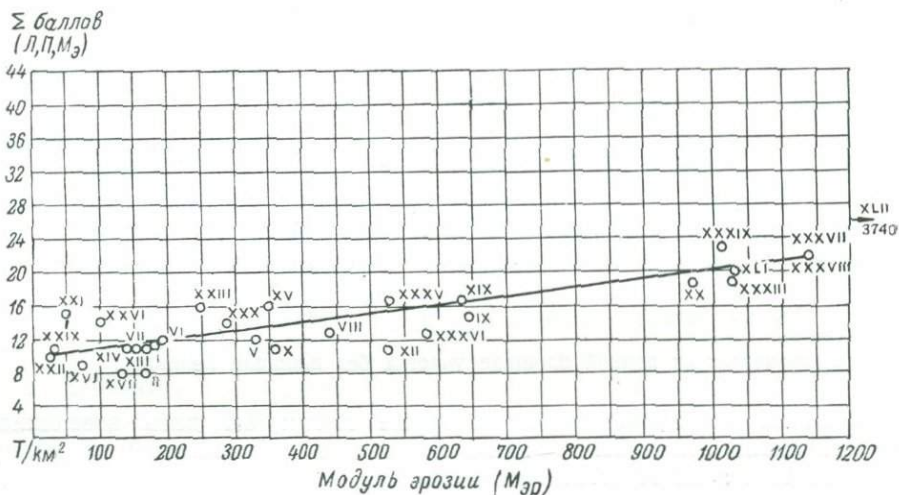
С целью приведения полученных в первой части исследования количественных характеристик отдельных естественных факторов в единую систему сравнимых между собой числовых показателей, указанные величины были заменены условными числовыми показателями, в результате чего каждый из измеренных ранее факторов получил свой «балл», характеризующий степень развития данного фактора в пределах данного участка. Переход к «баллам» производился по специально составленным для каждого фактора шкалам, состоящим (условно) из десяти ступеней, вследствие чего максимально высокий «балл» фактора на территории исследуемого района не мог превышать десяти, а минимальный — равнялся единице.

Таким образом, величина «балла», характеризующего тот или иной из естественных факторов на территории отдельно взятого участка, зависит от степени развития последнего, причем большая величина «балла» соответствует большей степени развития фактора, и, следовательно, большей интенсивности эрозионных процессов.

В исследовании сделано допущение, что все факторы влияют одинаково, так как материалов для количественной оценки роли отдельных естественных факторов в процессе формирования стока наносов рек пока нет — это тема специального исследования. Введение такого рода данных («весов»), несомненно, поможет со временем получить более

тесную зависимость твердого стока от комплекса основных естественных факторов.

Оценка естественных факторов в «баллах» дала возможность суммировать их значения для отдельных участков и сопоставлять суммы баллов с величинами твердого стока этих участков. В этой оценке нашли свое отражение те из естественных факторов, влияние которых на величину твердого стока в общих чертах заранее известно, т. е. известно, в какую сторону (увеличения или уменьшения) изменяется



Фиг. 15. Вероятная зависимость модуля эрозии от суммы баллов (Л, П, М_э) (1935 г.).

величина твердого стока с тем или иным изменением условий, создаваемых данным фактором. Количественная характеристика основных естественных факторов формирования твердого стока рек в «баллах» дана в табл. 14.

Суммирование баллов естественных факторов в различных сочетаниях дало возможность получить зависимости вида $M_{эп} = f(\Sigma \text{ баллов})$ и построить ряд графиков (фиг. 15, 16).

Интересно отметить, что на всех таких графиках вместо трех ветвей, характеризующих три части района, была получена только одна, общая для всех частей района вероятная зависимость вида:

$$y = kx + b,$$

чего и следовало ожидать. Три зависимости $M_{эп} = \alpha M_{э}$, полученные на графике (фиг. 14), объясняются тем, что при построении их были учтены далеко не все основные факторы, в том числе такие, например, как литологический состав пород, резко различный в разных частях района, почвенный покров, растительность и другие. На графиках же, построенных по методу относительной оценки, где эти факторы нашли свое отражение, три зависимости естественно должны были обратиться (и обратились) в одну зависимость, общую для всего района. Интересно отметить, что на графике, где, кроме прочих факторов, учтены безлесные территории, ниже других и дальше от прямой легли точки, характеризующие собой участки, на которых, по литературным данным,

Таблица 14

Количественная характеристика основных естественных факторов формирования твердого стока рек района в «баллах»

№№ участков	«Баллы», характеризующие					
	литологический состав пород	почвенный состав	безлесные пространства	энергетический модуль (1935 г.)	оледенение	удельный объем массивов
I	4	5	9	2	3	7
II	5	2	10	1	0	4
III	—	—	10	—	0	—
IV	—	—	9	—	0	—
V	1	8	8	3	9	10
VI	5	4	10	3	1	6
VII	1	8	8	2	9	10
VIII	5	4	9	4	0	6
IX	1	7	8	7	8	9
X	2	5	7	4	7	8
XI	10	—	8	—	0	—
XII	2	5	7	4	6	8
XIII	4	2	1	5	0	4
XIV	3	6	10	2	2	9
XV	2	5	9	9	5	7
XVI	3	4	8	2	3	7
XVII	2	3	6	3	9	7
XVIII	0	4	5	5	10	10
XIX	5	10	10	2	3	10
XX	3	6	8	10	4	6
XXI	2	10	9	3	1	7
XXII	7	1	3	2	0	3
XXIII	10	3	8	3	1	—
XXIV	—	—	8	—	3	—
XXV	—	—	—	—	—	—
XXVI	3	10	9	1	1	8
XXVII	5	7	2	7	0	5
XXVIII	10	1	2	10	0	2
XXIX	10	1	6	1	0	2
XXX	9	4	4	1	0	1
XXXI	—	4	10	—	0	—
XXXII	—	—	—	—	—	—
XXXIII	9	8	8	2	1	7
XXXIV	7	6	4	3	2	5
XXXV	10	5	4	2	0	1
XXXVI	10	2	4	1	0	2
XXXVII	9	10	9	3	1	7
XXXVIII			10	7		7	4
XXXIX	10	10	9	3	1	8
XL	10	10	10	2	1	7
XLI	9	9	10	2	1	7
XLII	7	10	10	9	0	—
XLIII	6	9	9	3	0	—

Примечание. Баллы энергетических модулей участков IX, X, XXVI, XXVII, XXVIII, XXX, XXXVII, XXXVIII, XXXIX, XL, XLI, XLII подсчитаны по данным за 1928—1934 гг.

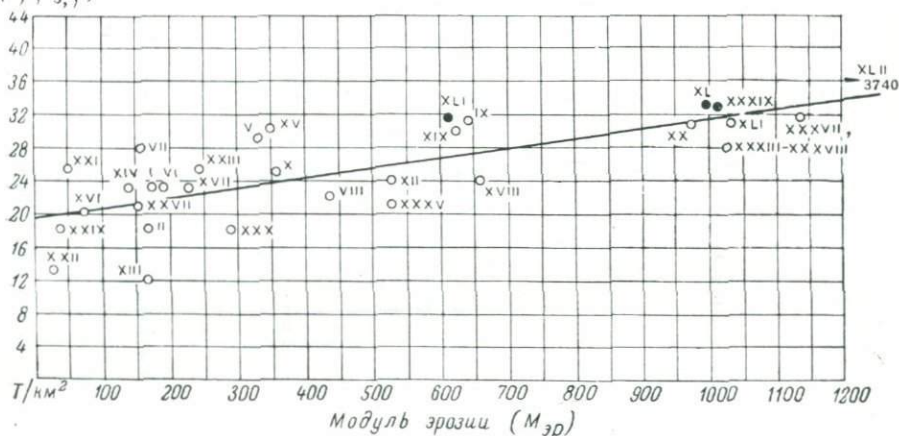
Под удельным объемом массива понимается объем призмы с высотой, равной средней абсолютной высоте участка (в километрах) и основанием 1 км²

$$\left(V_y = \frac{V_{абс}}{F} = H_{ср. абс} \cdot 1 \text{ км}^2 \right)$$

имеет место так называемая ускоренная эрозия, вызванная массовым сведением лесов, что не было (и из-за отсутствия данных) и не могло

быть учтено в наших подсчетах. В силу этого «баллы», характеризующие безлесные территории на этих участках, оказались заниженными. Если бы появилась возможность учесть территории, где был сведен лес на этих участках, то сумма «баллов» увеличилась бы для каждого из названных участков и точки расположились бы ближе к вероятному положению прямой, а может быть и легли бы на нее. В другом случае, точка XVIII (верховье р. Геналдон), на графике (фиг. 16), где не учтено оледенение, легла в стороне от остальных точек, ниже вероятного положения прямой. Анализ показал, что оледенение участка XVIII

Σ баллов
(Л, П, М_э, О, Р)



Фиг. 16. Вероятная зависимость модуля эрозии от суммы баллов (Л, П, М_э, О, Р) (1935 г.).

Черные точки нанесены по средним данным за весь период наблюдений.

равно 43%. Такого мощного оледенения нет ни на одном другом участке исследуемого района. Недоучет такого важного для данного участка фактора вызвал резкое отклонение точки XVIII, так как именно для этого участка сумма «баллов» получилась наиболее заниженной. На графике же, построенном с учетом оледенения, указанная точка легла в непосредственной близости от вероятного положения прямой.

Относительно малая разбросанность точек, дающая возможность наметить одну общую для всех участков зависимость, может служить косвенным доказательством применимости метода относительной оценки для характеристики явления эрозии как следствия влияния комплекса естественных факторов.

Таким образом, пользуясь результатами настоящего исследования, приближенную количественную характеристику твердого стока рек можно получить:

1. Путем определения потенциальной мощности реки и выявления общего характера литологического и почвенного состава поверхности ее бассейна, с применением формулы:

$$M_{эп} = \alpha M_э .$$

2. Путем количественного учета комплекса основных естественных факторов, влияющих на формирование твердого стока рек — потенциальная мощность рек, литология, почвы, растительность, морфометрия, оледенение и т. д. с использованием зависимости $M_{эп} = f(\Sigma \text{ бал-}$

лов). В этом случае в относительных «баллах» учитываются все возможные (поддающиеся количественной оценке) факторы.

Применение того или иного способа для выявления характера эрозионных процессов в бассейнах, или в створах рек, твердый сток которых не изучен, может иметь место в зависимости от наличия и полноты исходных материалов, характеризующих естественные условия бассейна, на основе физико-географических аналогий.

При использовании метода относительной оценки и метода физико-географических аналогий для выявления модуля эрозии неизученных в части твердого стока участков рек (по данным для изученных) следует:

1) По данным для бассейнов (или для отдельных створов на какой-либо реке) с изученным твердым стоком и естественными условиями, сходными с условиями изучаемого бассейна (или створа на той же реке), построить осредненную графическую зависимость вида:

$$M_{\text{эп}} = f(\Sigma \text{баллов}).$$

2) Подсчитать сумму баллов тех же естественных факторов для изучаемого бассейна (или створа) и, пользуясь установленной зависимостью, найти искомую величину модуля эрозии.

Таким образом, материалы исследования дали возможность наметить пути изучения количественной стороны рассматриваемого явления, а также установить приближенную математическую зависимость твердого стока рек от комплекса основных естественных факторов, его формирующих.

Дальнейшие исследования по предлагаемому методу количественной характеристики основных естественных факторов формирования твердого стока рек должны вестись путем изучения и уточнения некоторых вопросов, из которых наиболее существенны:

1. Выявление роли каждого из основных естественных факторов в процессе формирования твердого стока и, соответственно, его «веса» при исследовании влияния всего комплекса факторов по методу относительной оценки. Выявление роли отдельных факторов может быть выполнено двумя путями: а) путем подбора значений весов каждого из факторов, в результате чего для данного района должны получиться функциональные зависимости вида $M_{\text{эп}} = f(\Sigma \text{баллов})$, для которых коэффициент корреляции близок к единице; б) путем составления и решения систем уравнений вида:

$$M_{\text{эп}} = b + M_3 v_3 + L v_n + П v_{\text{п}} + O v_0 + \dots,$$

где b — минимальная сумма баллов, при которой начинается эрозия (отрезок на оси, по которой отложены Σ баллов), $v_3, v_n, v_{\text{п}}, v_0$ — искомые веса.

Уточненная зависимость, с учетом веса каждого из факторов должна иметь вид:

$$M_{\text{эп}} = f[\Sigma(M_3 v_3 + L v_n + П v_{\text{п}} + O v_0 + \dots)].$$

Проведенные исследования показывают, что наибольшие веса должны быть, повидимому, приданы гидроэнергетическому (M_3), литологическому (L) и почвенному ($П$) факторам.

2. Установление полной энергии бассейнов, которая наиболее просто может быть подсчитана по формуле Г. Г. Сванидзе [20]:

$$\mathcal{E}_6 = 85,9 F H_{\text{ср}} \left[m_{\text{мин}} + \frac{m_{\text{макс}} - m_{\text{мин}}}{1 + K \left(1 - \frac{H_{\text{ср}}}{H_{\text{макс}}} \right)} \right],$$

где коэффициент K определяется из формулы:

$$m = m_{\text{мин}} + aH^k,$$

выражающей зависимость $m = f(H)$ для данного бассейна.

3. Определение (на базе специального исследования) степени противозерозионной устойчивости горных пород и почв для обоснования деления их на группы.

4. Подсчет и введение в расчеты среднеголетних данных о стоке наносов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович Д. И. Исследование наносов реки Сулак. Ред.-изд. отд. ЦУЕГМС СССР, Л., 1935 г.
2. Варданянц Л. А. Горная Осетия в системе Центрального Кавказа. Тр. ЦНИГРИ, вып. 25, Л.—М., 1935 г.
3. Водно-энергетическая схема Северного Кавказа. Ростовское отд. Гидроэлектростроения, Ростов-на-Дону, фонды Гидроэлектростроения, 1935 г.
4. Волин А. В. Твердый сток и скорость эрозии. Изв. АН СССР, серия геогр. и геофиз., т. X, вып. 5, 1946 г.
5. Геология СССР, т. IX, Северный Кавказ, ч. I, М.—Л., Геолгиз, 1947 г.
6. Геологическая карта СССР масштаба 1:1 000 000. Объяснительная записка к листу К-38 (Ереван—Тбилиси), Геолгиз, Л.—М., 1941 г.
7. Григорович Н. А. Гидроэнергетический кадастр. Гидроэнергостроение, М., 1937 г.
8. Ерохин П. М. Материалы по гидрологии бассейна Сунжи. Тр. Сев. Кавк. ассоц. н.-и. ин-тов № 60, вып. 9, Ростов-на-Дону, 1930 г.
9. Зайков Б. Д. Средний сток и его распределение в году на территории Кавказа. Тр. н.-и. учрежд., сер. IV (гидрология суши), вып. 40, М.—Л., 1946 г.
10. Зонн С. В. Основные закономерности вертикально-зонального распределения почв в центральной и восточной частях северного склона Кавказа. Объяснительная записка к почвенной карте. Рукопись, фонды СОПС АН СССР, М., 1947 г.
11. Зонн С. В. Почвы Дагестана. В кн. «Сельское хозяйство горного Дагестана», Изд-во АН СССР, М., 1940 г.
12. Керкис Е. Е. Инженерно-геологические исследования на р. Сулак в Северном Дагестане. Тр. ЦНИГРИ, вып. 40, 1936 г.
13. Клопов С. В. Вопросы методики изучения гидроэнергетических ресурсов горных рек и пути их использования, 1950 г. Рукопись, фонды СОПС АН СССР.
14. Коростелев Н. А. Климат Дагестана. Сельхозгиз, М.—Л., 1930 г.
15. Львович М. И. Опыт классификации рек СССР. Тр. Гос. гидрол. ин-та, вып. 6, 1938 г.
16. Материалы по режиму рек СССР (водный кадастр СССР). Т. I, вып. 5. Бассейн Каспийского моря, реки Кавказа, Гл. управл. гидромет. службы, М.—Л., 1946 г.
17. Мостков М. А. Об исчислении запасов гидравлической энергии. Изв. АН СССР, отд. техн. наук, № 6, 1950 г.
18. Ренгартен В. П. Геологический очерк района Военно-Грузинской дороги, Тр. Всес. геол.-разв. объединения ВСНХ СССР, вып. 148, 1932 г.
19. Ренгартен В. П. Горная Ингушетия, геологические исследования в долинах рек Ассы и Камбилеевки на Северном Кавказе. Тр. Гл. геол.-разв. упр. ВСНХ СССР, вып. 63, 1931 г.
20. Сванидзе Г. Г. Методика исчисления гидроэнергетических ресурсов. Тр. Энергетического ин-та АН Груз. ССР, т. V, Тбилиси, 1950 г.
21. Соболев С. С. Развитие эрозийных процессов на территории Европейской части СССР и борьба с ними. Т. I, Изд-во АН СССР, М.—Л., 1948 г.
22. Справочник по водным ресурсам СССР. Т. X, Северный Кавказ, Л., 1936 г.

Кандидат технических наук

С. В. КЛОПОВ

**МЕСТНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ
КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ
И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА¹**

¹ Для характеристики энергетических ресурсов Черноморского побережья послужили данные полевых исследований автора (1927—1932 гг. и 1948—1949 гг.) и А. С. Клоповой (1927—1932 гг. и 1949 г.).

**ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА АДЛЕРСКОГО И ЛАЗАРЕВСКОГО РАЙОНОВ****а. Гидроэнергетические ресурсы**

Реки Адлерского и Лазаревского районов Краснодарского края обладают значительными запасами водной энергии. По комплексу естественных условий (длина реки, характер поверхности и абсолютная высота водосборных бассейнов, питание и режим стока и т. д.) реки исследуемых районов могут быть отнесены к следующим типам:

Основные горные реки Главного Кавказского и боковых хребтов. Притоки основных горных рек.

Малые реки береговых хребтов (Ах-Цу, Алек, Тюпючх, Пситиао, Никехт и другие).

Мельчайшие реки побережья.

К основным горным рекам Главного Кавказского и боковых хребтов принадлежат наиболее крупные реки: Мзымта, Сочи, Шахе, Псезуапсе, Аше, стекающие с южного склона Главного хребта, высоты которого здесь колеблются в пределах 1500—3500 м, и р. Псоу, берущая начало на склонах бокового хребта Аибга и гор Агепста, Ах-Аг, Ахахча.

Хребты, ограничивающие бассейны рек Мзымта и Псоу, имеют наибольшие абсолютные высоты; некоторые их узлы (Чугуш, Псеашха, Агепста) покрыты вечными снегами. Абсолютные высоты гор снижаются к западу. В бассейнах Шахе и Сочи лишь немногие вершины имеют отметки более 2000 м и только г. Фишт обладает большими фирновыми полями. В бассейнах Псезуапсе и Аше высоты более 1500 м являются исключением.

Все основные горные реки данных районов имеют большие уклоны в верхнем течении и представляют значительный интерес для энергетического использования. Их ущелья редко обладают более или менее значительными расширениями. Крутые склоны долин почти сплошь покрыты мощным лесным покровом, лишь в высокогорной части бассейнов сменяющимися субальпийскими и альпийскими лугами. Геологические условия горных долин весьма пестры. Кристаллические горные породы встречаются лишь в истоках рек, ниже речные долины врезаются в разнообразнейшие осадочные напластования. Тектонические нарушения усложняют общую геологическую картину. В районах пересечения долинами известняковых отложений нередки явления карста.

Южный склон Кавказского хребта отличается большими атмосферными осадками и высокими модулями стока. Последние в высокогорных участках бассейна Мзымты достигают 75 л/сек и выше (среднее многолетнее значение), снижаясь к западу до 25 л/сек.

Степень высокогорности бассейнов является главнейшим фактором, определяющим характер стока основных горных рек южного склона.

Река Мзымта, бассейн которой имеет наибольшую абсолютную высоту, в своем верхнем течении характерна минимальными расходами

воды в зимние месяцы (январь, февраль) и наиболее высокими в весенние и летние (апрель — июнь). В конце лета наблюдается некоторое уменьшение стока благодаря скудным в эти месяцы осадкам и полному истощению снегового питания. Осенние дожди снова поднимают уровень Мзымты. В нижнем течении Мзымты вес среднегогорного питания увеличивается за счет крупных притоков (Чвежипсе, Кепш) и годовой минимум переходит на конец лета.

Река Псоу имеет сходное с Мзымтой сезонное распределение стока.

На сток рек Сочи, Шахе, Псеуапсе высокогорное питание имеет значительно меньшее влияние, что приводит к сравнительному их многоводию в зимние месяцы и к маловодию летне-осеннего периода, с минимумом в июле — сентябре. Максимум здесь имеет место поздней весной (апрель — май); он обусловлен совпадением усиленного снегового таяния с периодом дождей.

Река Аше (по аналогии с р. Туапсе) может быть отнесена к группе рек с преобладанием весенне-зимнего питания и с длительным маловодием в летне-осенний период.¹

Общей характерной чертой основных горных рек южного склона в их нижнем и, местами, в среднем течении является значительное развитее поймы, покрытой мощным слоем галечника. В маловодные сезоны сток в нижнем течении рек иногда значительно уменьшается, сравнительно с вышележащими створами, несмотря на увеличение водосборной площади и отсутствие карста. Недостающая часть стока, повидимому, исчезает в пойменных отложениях, превращаясь в грунтовый поток. Исследования пойменных галечников при помощи шурфования² показали, что грунтовой поток обладает достаточными скоростями для измерения гидрометрической вертушкой.

Из притоков основных горных рек для целей сельской электрификации могут представить интерес реки самых разнообразных величин от малых ручьев, пригодных для питания микрогэс и мельчайших кустарных гидросиловых установок, до сравнительно крупных рек, на которых можно расположить ГЭС значительной мощности. Иногда малые по водосборной площади ручьи, благодаря высоким модулям стока и большим уклонам, способны решить задачу электрификации значительных хозяйств. Пример в этом отношении дает ГЭС на малой реке Бешенке (приток Мзымты), мощностью 500 квт, снабжающая энергией крупное строительство.

Притоки основных горных рек южного склона можно отнести к двум группам малых рек — горным (или высокогорным) и предгорным (или низкогорным). И те и другие реки могут служить для сооружения небольших гидроэлектростанций.

Горные (или высокогорные) притоки обладают на всем своем протяжении большими уклонами, причем наибольшие уклоны нередко, в долинах ледникового типа, имеют место на устьевых ступенях. Преобладание летнего стока над зимним — характерная гидрологическая черта этих рек.

Горные (высокогорные) притоки располагаются в верхних участках бассейнов основных горных рек южного склона и лишь немногие из них находятся в обжитых районах.

Предгорные (низкогорные) притоки имеют иной, чем высокогорные, характер гидрографа. Маловодный период этих рек совпадает с сухими летними месяцами, во время которых иссякает поверхностный сток и питание происходит исключительно за счет грунтовых вод.

¹ Систематических измерений расходов воды рек Псеуапсе и Аше не велось.

² По данным П. И. Ивченко.

Из низкогорных притоков в связи с этим особый интерес для гидроэнергетики приобретают источники, питаемые карстовыми водами. В отношении характера долин и уклонов низкогорные притоки мало отличаются от высокогорных — и те и другие имеют узкие, с крутыми, лесистыми склонами долины, часто прерываемые скалистыми ущельями; у низкогорных притоков лишь, как правило, отсутствуют устьевые ступени, имеющиеся у некоторых высокогорных притоков.

К малым рекам береговых хребтов относятся: Кудепста, Хоста, Мацеста, Лоо, Хобза, Чимит, Цусхвандж. Меньшие из них: Херота, Агура, Бзугу, Мамайка, Буу, Беранда, Якорная, Чукухт, Куапсе. Малые реки береговых хребтов питаются главным образом за счет дождевых осадков, дающих максимальные расходы воды в зимние и в ранние весенние месяцы (декабрь — апрель). Лето на этих реках отличается длительным маловодьем, с абсолютным минимумом в сентябре.

Паводковый режим некоторых из малых рек береговых хребтов иногда несколько смягчают карстовые источники, выклинивающиеся у подножья береговых хребтов и частично передающие воды из смежных бассейнов. Так, имеется предположение о подземной связи между бассейнами рек Кудепста, Хоста и Мзымта. Реки береговых хребтов имеют небольшие водосборные площади (не более 100 км²) и незначительные длины (до 10—12 км). Вместе с тем их падение иногда достигает 800—900 м, а уклоны русла в нижнем течении 3—5%, в верхнем же 10—20% и более. Продольные профили малых рек береговых хребтов обычно имеют довольно правильную параболическую форму.

К мельчайшим рекам побережья относятся как самые малые речки береговых хребтов (Бихта, Уч-Дере и некоторые другие), так и притоки малых рек береговых хребтов. Отличаясь незначительным годовым стоком, мельчайшие реки побережья в дождливые сезоны года превращаются в бурные потоки, а в засушливые — пересыхают; как правило, они не представляют какой-либо энергетической ценности.

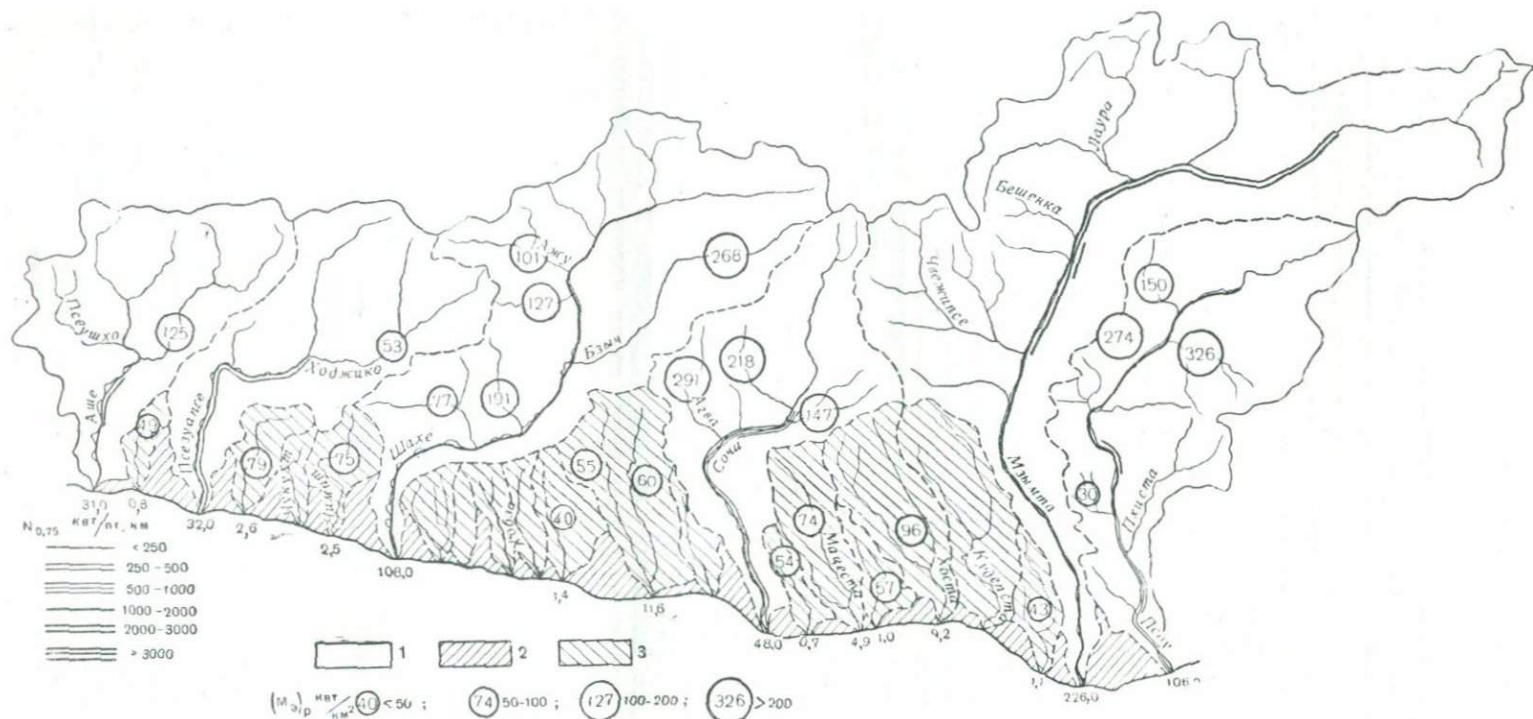
Наиболее мощными из рек Адлерского и Лазаревского районов являются основные горные реки, среди которых особенно выделяются реки Мзымта, Шахе, Псоу. Энергетические ресурсы этих рек ранее подвергались более или менее подробным исследованиям, в связи с выбором объектов гидроэнергетического строительства, и имеют достаточно изученность для подсчета их потенциальной мощности (фиг. 1).

Притоки основных горных рек, а также малые реки береговых хребтов изучены недостаточно полно; характеристика потенциальных энергетических ресурсов большинства из них может быть дана лишь на базе приближенных расчетов, например, с применением разработанного нами метода энерго-географических аналогий (метод базисных бассейнов).

Энергетическую ценность рек южного склона снижает внутригодичная неравномерность стока. Для полного годовичного регулирования стока ни на одной из рек нет благоприятных условий. Частичное сезонное регулирование стока изучаемых рек может иметь место лишь в редких случаях, причем для его осуществления необходимы дорогие сооружения и большие объемы работ. Это исключает возможность строительства регулирующих плотин при гидроэлектрических установках небольшой мощности.

По данным Гидроэнергопроекта, реки Псоу, Мзымта, Сочи, Шахе¹

¹ Изученные при нашем участии и руководстве в 1927—1932 гг.



Фиг. 1. Потенциальные ресурсы водной энергии рек Адлерского и Лазаревского районов Краснодарского края:

1 — притоки основных горных рек; 2 — мельчайшие реки побережья; 3 — малые реки береговых хребтов. $N_{0,75}$ — потенциальная мощность 75% обеспеченности $(M_{э})_p$ — гидроэнергетический среднегодовой модуль русловой мощности.

Цифрами у устьев основных горных рек (31,0 и др.) показаны их средние годовые мощности в тыс. квт.

имеют среднюю годовую потенциальную мощность около 528 тыс. квт, при гарантированной круглый год мощности 125 тыс. квт.

Запасы потенциальной мощности рек Псоу, Мзымты, Сочи, Шахе распределены по сезонам года неравномерно. Среднегодовая мощность их имеет лишь пяти-шестимесячную обеспеченность.

Энергетическая полноценность этих рек, т. е. соотношение их возможной отдачи по мощности, гарантированной круглый год, и отдачи по среднегодовой мощности, находится в пределах от 0,17 до 0,25, достигая максимума (0,25) в бассейне Мзымты, с наиболее значительным высокогорным питанием. Показатель годичного регулирования, т. е. объем водохранилища, необходимый для полного годичного регулирования речного стока в средний по воде год, в долях от стока реки за год, составляет от 0,13 (р. Сочи) до 0,19 (реки Мзымта и Псоу).

Для неполного, сезонного регулирования стока этих рек были бы достаточны сравнительно небольшие объемы водохранилищ.¹ Так, для зарегулирования расхода воды 75% (девятимесячной) обеспеченности, что повысило бы гарантированную круглый год мощность до 70% от среднегодовой, достаточна полезная емкость водохранилища от 3,8% (для р. Псоу) до 4,8% (для р. Сочи) объема годового стока.

Однако создание даже столь небольших регулирующих емкостей на рассматриваемых реках признается нерациональным, так как стоимость необходимых для этого подпорных сооружений оказалась бы слишком высокой. В случае же необходимости такие водохранилища могли бы иметь место на р. Мзымте, непосредственно выше с. Красная Поляна с плотиною у с. Эстонка и в районе Кепш-Чвежипсе с плотиною в ущелье Ах-цу и на р. Шахе у с. Тух-аул и у устья р. Ажу.

Отдельные реки Лазаревского и Адлерского районов имеют несовпадающие по времени периоды паводков и маловодья, что делает желательной совместную работу использующих эти реки гидроэлектростанций, ибо она позволит достигнуть некоторого регулирующего эффекта.

Как показано выше, условия совместного использования энергии этих рек могут быть оценены при помощи показателей сезонности, выражающих характер отклонений сезонных (месячных, недельных, суточных) модульных коэффициентов от среднего годового модульного коэффициента.²

Пользуясь данными о стоке, можно найти показатели сезонности для рек Адлерского и Лазаревского районов и исследовать условия сочетаний ГЭС на этих реках.

Условие минимума сумм абсолютных величин отклонений ($K_{сез}$) модульных коэффициентов (табл. 1) указывает, что наиболее выгодны сочетания ГЭС на реках с существенным высокогорным питанием (Мзымта, Псоу), расположенных на крайнем западе изучаемой территории с установками на реках Аше (1,66)³ и Туапсе (2,00), имеющих паводковый режим, а также на стоке р. Пшиш (2,00), притоке Кубани.

Минимальные значения ($K_{сез}$) для рек Хоста (1,32), Псоу (1,26), Сочи (1,16) и Псезуапсе (1,16) показывают, что незарегулированный сток этих рек может быть использован более эффективно, чем сток остальных рек.

¹ См. фиг. 11 в статье С. В. Клопова «Гидроэнергетические ресурсы Северного и Западного Кавказа и условия их использования для развития народного хозяйства», помещенной в данном труде.

² См. статью С. В. Клопова «Гидроэнергетические ресурсы Северного и Западного Кавказа и условия их использования для развития народного хозяйства», помещенную в настоящем труде.

³ Здесь и далее в скобках — ($K_{сез}$).

Таблица 1

Потенциальные русловые энергетические ресурсы некоторых основных горных рек и р. Пшиш (приток Кубани) и их сочетаний

Река	Створ	Отклонения модульных коэффициентов					(K _{сез})
		зима	весна	лето	осень		
Псоу	Ермоловский	-0,31	+0,63	-0,09	-0,23		1,26
Мзымта	Краснополянский . .	-0,58	+0,52	+0,38	-0,32		1,80
Хоста	Хостинский (у г. Хоста)	+0,36	+0,30	-0,41	-0,25		1,32
Сочи	Пластунский	+0,05	+0,53	-0,30	-0,28		1,16
Шахе	Тух-Аульский	-0,08	+0,61	-0,26	-0,27		1,22
Псеуапсе	У устья	+0,05	+0,53	-0,30	-0,28		1,16
Аше	У устья	+0,51	+0,31	-0,52	-0,30		1,64
Туапсе	Туапсинский (у г. Туапсе)	+0,98	+0,08	-0,75	-0,31		2,12
Пшиш	Хадыженский	+0,63	+0,43	-0,65	-0,40		2,12
Мзымта + + Сочи		-0,53	+1,05	+0,08	-0,60		2,26
Мзымта + + Псоу		-0,89	+1,15	+0,29	-0,55		2,88
Мзымта + + Псеуапсе	Створы те же . . .	+0,05	+0,95	-0,28	-0,72		2,00
Мзымта + + Аше		-0,07	+0,83	-0,14	-0,62		1,66
Мзымта + + Туапсе		+0,40	+0,60	-0,37	-0,63		2,00
Мзымта + + Пшиш		+0,05	+0,95	-0,28	-0,72		2,00

Характеристика гидроэнергетических ресурсов основных горных рек Адлерского и Лазаревского районов приведена в табл. 2.

Таблица 2

Потенциальные русловые энергетические ресурсы некоторых основных горных рек Адлерского и Лазаревского районов Краснодарского края¹

Район	Потенциальная мощность (в тыс. квт)				Потенциальная отдача в средний год (в млрд. квтч)		Энергетическая полноценность ²	Энергетический показатель годового регулирования ³
	среднее за год	обеспеченность (в %)				годовая Э год			гарантированная^{2} Э гар
		25	50	75	100		α _э	β _э
Псеуапсе	32	39	31	25	5	0,28	0,05	0,17
Аше с притоком								
Бекишай	31	53	29	12	2	0,27	0,02	0,07

¹ Потенциальные мощности рек Псоу, Мзымта, Сочи, Шахе см. в табл. 3 статьи С. В. Клопова «Гидроэнергетические ресурсы Северного и Западного Кавказа и условия их использования для развития народного хозяйства», в данном сборнике. Потенциальные мощности определены по формуле:

$$N = 9,8QH.$$

Для определения промышленных (реально-располагаемых) мощностей следует вводить поправку за к.п.д. гидроэлектрических установок (0,6—0,8).

² По минимальному среднесуточному расходу воды, обеспеченному 355 дней в году.

$$\alpha_{э} = \frac{Э_{гар}}{Э_{год}}$$

Для сельской электрификации наибольший интерес представляют величины потенциальной мощности рек в пределах 75—100% обеспеченности.

Потенциальные мощности основных горных рек имеют максимальное значение в средней части их течения, однако они достаточно велики для устройства небольших сельских ГЭС и на других участках этих рек.

Потенциальные мощности притоков основных горных рек иногда достигают больших абсолютных и удельных величин. Так, среднегодовой гидроэнергетический модуль русловой мощности ($M_{э})_p$, т. е. мощности, отнесенной к 1 км² площади бассейна р. Беш (приток р. Псоу), достигает 326 квт/км², р. Агва (приток р. Сочи) — 291 квт/км², р. Бзыч (приток р. Шахе) — 268 квт/км², значительно превышая величины гидроэнергетического модуля основных горных рек, притоками которых они являются.

Притоки нижнего течения основных горных рек южного склона обладают значительно меньшими мощностями, чем притоки верхнего и среднего течения. Так, гидроэнергетический модуль ($M_{э})_p$ для рек Верхняя и Нижняя Шиловки (притоки р. Псоу) едва достигает 30 квт/км², р. Кичмай (приток р. Шахе) 77 квт/км², р. Безуменка (приток р. Сочи) — 98 квт/км². Характеристика гидроэнергетических ресурсов важнейших притоков основных горных рек приведена в табл. 3.

Таблица 3

Потенциальные гидроэнергетические ресурсы притоков основных горных рек южного склона

Река	Приток	N (в тыс. квт)	Среднегодовой гидроэнергетический модуль (в квт/км ²)		Примечания
			($M_{э})_p$	($M_{э})_б$	
Аше Псеуапсе	Бекишай	12,5	125	175	1. N — потенциальная среднегодовая мощность, заключенная в русле притока 2. ($M_{э})_p$ — гидроэнергетический модуль по мощности, заключенной только в русле притока 3. ($M_{э})_б$ — гидроэнергетический модуль по мощности, заключенной как в русле притока, так и в руслах впадающих в него наиболее крупных рек (притоков второго порядка)
	Ходжико	11,8	53	174	
Шахе	Ажу	5,0	101	164	
	Бзыч	3,0	127	196	
Сочи	Бзыч	29,6	268	307	
	Псий	4,1	191	—	
	Кичмай	4,0	77	172	
	Чушха	5,4	218	236	
	Ац	3,3	147	—	
Псоу	Агва	12,1	291	325	
	Безуменка	0,6	98	—	
	Водопад	1,9	274	—	
	Безмянка	3,7	150	204	
	Беш	12,9	326	425	
	В. Шиловка	0,3	30	63	
	Н. Шиловка	0,4	31	39	

Мощность 75% обеспеченности для притоков основных горных рек, повидимому, составляет от 1/3 до 2/3, а круглогодочная мощность от 10 до 25% их среднегодовой мощности. Кратковременные гидрологические наблюдения имеются лишь по очень немногим притокам, что не позволяет уточнить эти величины.

Из малых рек береговых хребтов наибольшей абсолютной и удельной мощностями обладают р. Хоста, среднегодовой гидроэнергетический модуль русловой мощности ($M_{э})_p$, который составляет 96 квт/км²,

р. М. Хоста (70 квт/км²), р. Цусхвадж (79 квт/км²), р. Чимит (75 квт/км²) и р. Мацеста (74 квт/км²).

Гидроэнергетические модули бассейнов остальных малых рек береговых хребтов лежат в пределах от 40 до 60 квт/км².

Таблица 4

Потенциальные гидроэнергетические ресурсы малых рек береговых хребтов южного склона

Река	N (в тыс. квт)	Среднегодовой гидроэнергетический модуль (в квт/км ²)		Примечания
		(M _э) _p	(M _э) _б	
Куапсе	0,8	49	—	1. N — потенциальная среднегодовая мощность, заключенная в русле реки 2. (M _э) _p — гидроэнергетический модуль по мощности, заключенной только в русле реки 3. (M _э) _б — гидроэнергетический модуль по мощности, заключенной как в русле реки, так и в руслах впадающих в нее наиболее крупных притоков
Цусхвадж	2,6	79	100	
Чимит	2,5	75	103	
Лоо	1,4	40	67	
З. Дагомыс	5,6	55	112	
В. Дагомыс	5,3	60	103	
Бзугу	0,7	54	56	
Агура	1,0	57	66	
Мацеста	4,9	74	102	
Хоста	9,2	96	130	
М. Хоста	2,8	70	81	
Херота	1,1	43	49	

Мощность 75% обеспеченности для различных малых рек береговых хребтов (по данным для рек Хоста и Куапсе), повидимому, находится в пределах от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{2}$ ее среднегодового значения, а мощность круглогодической обеспеченности может падать до 1—5%.

Для проектирования энергетической базы сельского хозяйства изучаемых районов важно знать не только величины потенциальных гидроэнергетических ресурсов, но и их возможные промышленные мощности, т. е. мощности, которые могут быть отданы гидростанциями, использующими сток этих рек. Промышленные гидроэнергетические ресурсы могут быть определены путем введения в значение потенциальной мощности используемого участка реки заданной обеспеченности (обычно 75—95%) поправки за к.п.д. гидроэлектрических установок. Эта поправка составляет 0,6—0,65 для малых ГЭС и 0,75—0,8 для более крупных.

При определении промышленных ресурсов энергии реки в целом, кроме того, следует ввести поправку на неполноту использования падежной реки (0,5—0,75).

б. Электропотребление и перспективы электрификации сельского хозяйства

Современная сельская энергетическая база Лазаревского и Адлерского районов недостаточно развита. Даже наиболее крупные селения не всегда имеют электроэнергию хотя бы для освещения.

Сельское и коммунальное энергетическое хозяйство состоит в основном из малых электроустановок на жидком топливе со старым изношенным оборудованием самых разнообразных систем. Строительство гидроэлектрических станций, начатое здесь лишь в последние годы, далеко не достигло еще нужных темпов развития. Стоимость

электроэнергии сельских тепловых установок нередко превышает 1 руб. за 1 квтч, а трудность доставки топлива, особенно в удаленные от ж. д. пункты, часто приводит к вынужденным длительным перерывам в их работе. Так, современная потребность в электроэнергии населенных пунктов, предприятий и колхозов Лазаревского района покрывается 19 мелкими и мельчайшими электростанциями мощностью от 3 квт (колхоз «Союз Гор») до 120 квт (Дагомысская госфабрика), работающими на жидком топливе и на дровах. Мощность всех электростанций района составляет лишь 470 квт, а себестоимость энергии колеблется от 40 коп. до 3,25 руб. за 1 квтч.

При современном состоянии сельской электроэнергетической базы Адлерского и Лазаревского районов нельзя говорить об электрификации трудоемких производственных процессов сельского хозяйства, чрезвычайно важной для достижения планируемого уровня его развития. Вместе с тем, реки Лазаревского и особенно Адлерского районов обладают значительными запасами водной энергии, использование которых может обеспечить создание собственной электроэнергетической базы достаточной мощности.

Потребности в электроэнергии населенных пунктов Адлерского и Лазаревского районов будут слагаться из нагрузок:

- а) бытовых и культурно-общественных (освещение, бытовые приборы, радиосвязь, клубы, кино и т. д.);
- б) моторных (лесопилки, молотилки, мельницы, водоснабжение, ремонтные мастерские, мелкие предприятия);
- в) полеводческих (обработка почвы, орошение и дождевание, обогрев оранжерей, теплиц и парников, электро-светокультура растений и т. д.);
- г) животноводческих (приготовление кормов, электродойка, электрострижка, водоснабжение и т. д.);
- д) прочих сельскохозяйственных (обогрев ульев, световое облучение коконов и их сушка, вентиляция и т. д.);
- е) производственных, по переработке урожая (сушка фруктов, орехов, чая, табака, консервирование продуктов и т. д.).

Только для освещения и частичной бытовой электрификации небольших поселков (100—200 дворов) необходимая мощность электростанций в условиях Адлерского и Лазаревского районов составляет 15—30 квт. Радиус действия таких электростанций достигнет нескольких километров, вследствие чрезвычайной разбросанности некоторых селений.

По фондовым данным Абхазского научно-исследовательского института для электрификации сельского хозяйства в условиях южного склона Кавказа, включая освещение, бытовые, моторные (лесопиление, помол зерна, водоснабжение) и мелко-моторные нагрузки, без животноводства, полеводства и переработки урожая, с учетом коэффициента одновременности, на один двор необходима установленная мощность 0,67 квт при годовом электропотреблении около 600 квтч. Необходимая мощность двигателя дождевальной установки для одного хозяйства составляет 10—20 квт, при потребности в электроэнергии около 100 квтч/га за сезон. Электросушка 1 ц слив требует 370 квтч и экономит 0,8 м³ дров (при калорийности 4000), для электросушки 1 т зеленого чайного листа необходимо 450 квтч, а для сушки 1 ц табака — 563 квтч. Таким образом, для удовлетворения всех потребностей сельского хозяйства и местной промышленности необходимы сравнительно значительные мощности.

Расчеты, проведенные для типичных хозяйств основных сельскохозяйственных зон южного склона в условиях Адлерского и Лазаревского районов: 1) табачно-садоводческо-животноводческой (зона I, горная), по данным для колхоза «Красный Союз» Адлерского района; 2) чайно-табачной (зона II, низкогорная), по данным для колхоза «Стахановец» Адлерского района и 3) чайно-овощной (зона III, прибрежная), по данным для колхоза «Красный Путиловец» Лазаревского района, показывают, что установленная мощность электростанций, необходимая для удовлетворения потребностей сельского хозяйства этих районов в энергии в 1955 г. составит 11—18 тыс. квт, в зависимости от степени электрификации производственных процессов сельского хозяйства.

Перспективные электрические нагрузки для каждой зоны на один двор для различных сезонов года, с учетом расхода энергии на освещение, бытовые и культурные нужды, электрификацию трудовых процессов, связанных с животноводством, электрификацию орошения, сушки плодов, чая и табака и подсобных предприятий (лесопилки, механические и деревообделочные мастерские) приведены в табл. 5 и 6. В таблицах даны нагрузки как без учета электросушки, так и с учетом последней.

Нормы энергопотребления, кроме электросушки, приняты по нормам Всесоюзного института электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ) для Краснодарского края, с коэффициентом 2,0 за счет повышения энергопотребления к расчетному 1955 г.

Таблица 5

Перспективные электрические нагрузки (на 1955 г.) для различных сельскохозяйственных зон Адлерского и Лазаревского районов Краснодарского края на один двор (с учетом потерь и собственных нужд)

Зона	Измеритель	Весна		Лето		Осень		Зима		Год	
		без электросушки	с электросушкой	без электросушки	с электросушкой	без электросушки	с электросушкой	без электросушки	с электросушкой	без электросушки	с электросушкой
I. Табачно-садоводческо-животноводческая (горная)	Максимум квт Квтч	0,31	—	0,34	0,41	0,26	1,13	0,36	—	—	—
II. Чайно-табачная (низкогорная)	Максимум квт Квтч	0,34	—	0,31	0,35	0,26	0,63	0,38	—	—	—
III. Чайно-овощная (прибрежная)	Максимум квт Квтч	0,27	0,37	0,25	0,34	0,24	0,38	0,34	—	—	—
										1850	3800
										1905	2790
										1756	2371

Примечания. 1. Расчеты для зон проведены по данным для колхозов: «Красный Союз», Раздольского сельсовета Адлерского района, — для зоны I (150 дворов); «Стахановец», Кудепстинского сельсовета Адлерского района, — для зоны II (300 дворов);

«Красный путиловец» Дагомьского сельсовета Лазаревского района, — для зоны III (500 дворов).

2. Число дворов указано для перспективного 1955 г. Коэффициент роста числа дворов сравнительно с 1948 г. принят равным 2,0 для зон I и III и 1,6 для зоны II по догласованию с Черноморской комплексной экспедицией СОПС АН СССР.

Таблица 6

Мощности, необходимые для электрификации хозяйств различных сельскохозяйственных зон Адлерского и Лазаревского районов (с учетом потерь и собственных нужд), в установленных киловаттах

Зона	Число дворов			Установленная мощность (в квт)			
	1948 г.	коэф- фициент роста	1955 г.	на один двор		всего в 1955 г.	
				без электро- сушки	с электро- сушкой	без электро- сушки	с электро- сушкой
I. Табачно-садоводче- ско-животноводче- ская (горная)	1610	2,0	3220	1,33	2,43	4283	7825
II. Чайно-табачная (низ- когорная)	2616	1,6	4185	1,40	1,89	5860	7912
III. Чайно-овощная (при- брежная)	1734	2,0	3468	1,37	1,66	4751	5757
Всего:	--	--	--	--	--	14894	21494

Затраты энергии на электросушку плодов, чая, табака подсчитаны по данным Абхазского научно-исследовательского института.

Расчеты по сушке плодов сделаны в предположении средней урожайности 50 ц/га, переработки 60% урожая и выхода сухой продукции в размере 25% от всей перерабатываемой продукции, т. е. 7,5 ц/га; по сушке чая для средней урожайности зеленого чайного листа 15 ц/га, а по сушке табака для выхода сухой продукции 1 ц/га.

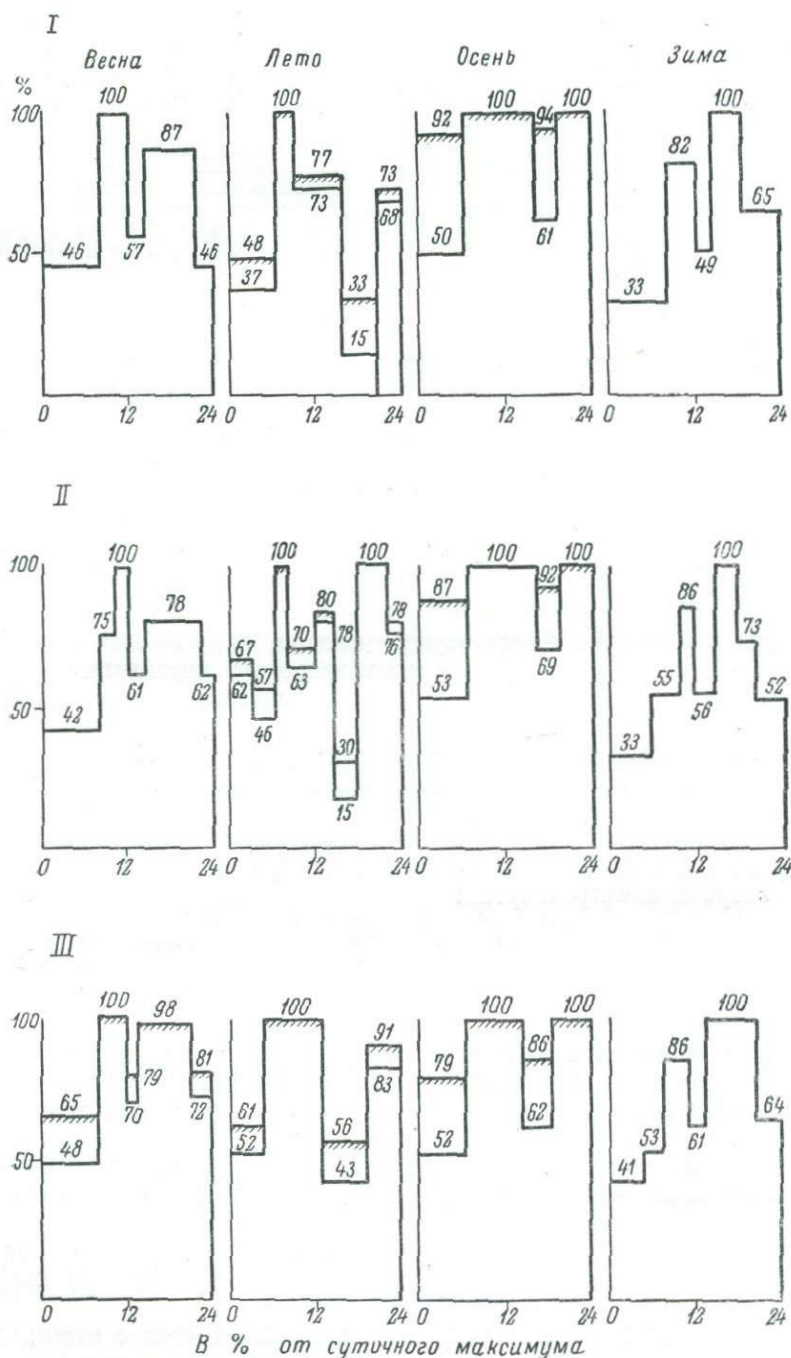
При этих условиях и при круглосуточном режиме сушки для переработки урожая с 1 га земельной площади требуется установленная мощность и затрата электроэнергии:

для сушки плодовых	1,8 квт,	2775 квтч,	сезон сушки	IX—XI
" " чая	0,33 "	675 "	" "	V—VIII
" " табака	0,37 "	563 "	" "	VII—IX

Наибольшая затрата мощности во всех зонах имеет место в зимний сезон и осенью при наличии электросушки. На фиг. 2 приведены типовые графики нагрузок для всех зон и сезонов, в процентах от суточного максимума.

Установленная мощность, требуемая для полной электрификации хозяйств на один двор, без учета сушки, в различных зонах колеблется от 1,33 до 1,40 квт. Электросушка вызывает увеличение установленной мощности на 21% (до 1,66 квт/двор) в прибрежной зоне, на 35% (до 1,89 квт/двор) в среднегорной зоне и на 83,5% (до 2,43 квт/двор) в горной зоне.

Осенне-зимний максимум нагрузок плохо сочетается с режимом речного склона, большая часть которых имеет именно в эти сезоны минимум мощности. Это несовпадение вызовет значительные затруднения в покрытии нагрузок по электросушке за счет нерегулируемых гидроэлектростанций на местном стоке. Для характеристики укажем, что даже Краснополянская ГЭС средней мощности на р. Мзымте, при работе только на снятие нагрузок сельского хозяйства, смогла бы в осенние месяцы покрыть менее 30% этих нагрузок. В ряде случаев это



Фиг. 2. Типовые графики нагрузок сельского хозяйства Адлерского и Лазаревского районов:

I — горная табачно-садоводческо-животноводческая зона; II — низкогорная чайно-табачная зона; III — прибрежная чайно-овощная зона.

приведет к отказу от широкого использования электроэнергии для сушки, до сооружения регулирующих ГЭС.

Большая часть сельского населения Адлерского и Лазаревского районов проживает в долинах основных горных рек и в бассейнах малых рек береговых хребтов. Прибрежная полоса шириною 10—15 км в пределах Адлерского района и шириной от 2 до 10 км в пределах Лазаревского района густо заселена. В этой полосе сосредоточена основная масса хозяйств прибрежной чайно-овощной и низкогорной чайно-табачной сельскохозяйственных зон. Хозяйства горной табачно-садоводческо-животноводческой зоны расположены редкими пятнами, главным образом по долинам основных горных рек остальной территории районов. Прибрежная полоса может быть разбита на три характерных, по условиям расселения и по ресурсам энергии рек, участка: р. Псоу — р. Сочи, р. Сочи — р. Шахе, р. Шахе — р. Макопсе.

Если принять равномерное размещение хозяйств на территории прибрежной полосы, то к 1955 г. на участке р. Псоу—р. Сочи будет расположено около 55% всех дворов чайно-овощной и чайно-табачной зон, на участке р. Сочи — р. Шахе 30% дворов и на участке р. Шахе — р. Макопсе 15% дворов. Основные хозяйства горной табачно-садоводческо-животноводческой зоны должны разместиться главным образом в расширениях речных долин, занятых селениями Айбга (р. Псоу), Красная Поляна (р. Мзымта), Ажек (р. Сочи), Солох-Аул (р. Шахе), Марьино (р. Псеуапсе), Псеушко (р. Аше) и в некоторых других.

При таком размещении потребителя электроэнергии чайно-овощной и чайно-табачной зон на участке р. Псоу — р. Сочи к 1955 г. потребуют от 5,8 до 7,5 тыс. квт мощности, в зависимости от степени электрификации процесса сушки. Реки этого участка имеют промышленную мощность круглогодовой (95%) обеспеченности около 9,4 тыс. квт и девятимесячной (75%) обеспеченности около 32,0 тыс. квт (табл. 7).

Хозяйства участка р. Сочи — р. Шахе к 1955 г. будут потреблять от 3,2 до 4,1 тыс. квт при наличии промышленных ресурсов водной энергии от 1,9 (обеспеченность 95%) до 7,7 тыс. квт (обеспеченность 75%).

Наконец, для электрификации хозяйств участка р. Шахе — р. Макопсе необходимо от 1,6 до 2,1 тыс. квт при ресурсах водной энергии от 2,0 до 10,8 тыс. квт.

Таким образом, участки Псоу — Сочи и Шахе — Макопсе достаточно обеспечены местными ресурсами водной энергии, тогда как на среднем участке Сочи — Шахе, не имеющем достаточных запасов мощности круглогодовой обеспеченности, необходимо изыскание дополнительных источников энергоснабжения, или же осуществление регулирования стока рек.

Для полного обеспечения энергией всех хозяйств с электросушкой необходимо использовать почти все реки, протекающие в пределах исследуемых участков, на всем их протяжении. Сооружение в короткий срок многих десятков ГЭС разной мощности, покрывающих сплошными каскадами все реки прибрежной полосы — задача явно нерешаемая, тем более, что использование многих рек окажется невыгодным, установки же на других реках будут иметь слишком тяжелые схемы. Должно быть найдено иное решение, основанное на сочетании небольших ГЭС, на местном стоке с подачей энергии от более мощных установок, объединяемых центральной электроэнергетической системой.

Иные перспективы снабжения энергией хозяйств имеют место в горной табачно-садоводческо-животноводческой зоне. Селения этой зоны небольшие, с учетом роста они будут иметь не более 100—200 дворов. Исключение представляет лишь с. Красная Поляна. Снабжение энергией

Таблица 7

Перспективные (на 1955 г.) электрические нагрузки и промышленные гидроэнергетические ресурсы прибрежной и низкорной зон Адлерского и Лазаревского районов

Участок, зона	Дворы		Необходимая в 1955 г. установ. мощность (в квт)		Промышленные ресурсы водной энергии (в квт)			
	(в %)	количество	без электросушки	с электросушкой	река	участок	обеспечен.	
							75%	95%
1. р. Псоу — р. Сочи:					Псоу . . .	с. Ермоловское — устье	6000	2000
Чайно-овощная	55	1900	2603	3154	Мзымта . .	Ахштырх—устье	16000	5500
					Херота . .		220	40
					Кудепста . .		1000	170
Чайно-табачная	55	2300	3220	4347	Хоста . . .		1800	300
					Агура . . .		200	35
					Мацеста . .		960	160
					Бзугу . . .		140	20
Итого:	55	4200	5823	7501	Сочи . . .	р. Агва — устье	5500	1200
					Итого:		31820	9425
2. р. Сочи — р. Шахе:					В. Дагомыс		1050	175
Чайно-овощная	30	1044	1430	1733	З. Дагомыс		1100	180
					Лоо		270	45
Чайно-табачная	30	1260	1764	2381	Хобза . . .		250	40
					Шахе . . .	с. Кичмай—устье	5000	1500
Итого:	30	2304	3194	4114	Итого:		7670	1940
Всего по участкам 1 и 2:			9017	11615	Всего . . .		39490	11365
3. р. Шахе — р. Макопсе:					Чимит . .		500	80
Чайно-овощная	15	520	712	863	Чукухт . .		500	80
					Цухсвадж	р. Тхагапс — устье	500	80
					Псезуапсе		7000	1400
Чайно-табачная	15	630	882	1191	Куапсе . .		150	25
					Аше . . .	с. Красно-Александровское устье	2100	350
Итого:	15	1150	1594	2054	Итого:		10750	2015
Всего:	100	7654	10611	13669	Всего: . . .		50240	13380

Примечания: 1. Мощность 75% обеспеченности для малых рек принята равной $\frac{1}{3}$, а мощность 95% обеспеченности 5% от средней за год.
2. К.п.д. установок на малых реках 0,6, на крупных 0,7.

таких хозяйств за счет местных ресурсов водной энергии в большинстве случаев не представляет затруднений, так как и на основных горных реках и на их притоках могут быть найдены участки для устройства ГЭС высокой обеспеченности мощностью 200—300 квт и более. Примеры таких ГЭС дают намечаемые Бабук-Аульская ГЭС на р. Шахе, Верхне-Ашинская и Красно-Александровская на р. Аше, действующая Малая Краснополянская на р. Бешенке и другие.

Энергетическое использование рек южного склона сельскими гидроэлектростанциями небольшой мощности, как указано выше, затрудняется неравномерностью стока рек и невозможностью на большинстве из них устройства водохранилищ сезонного регулирования. На тех реках, где такие водохранилища могут быть сооружены (например, на Мзымте и Шахе), стоимость работ по их устройству слишком высока для малых ГЭС и может быть оправдана лишь при каскадном использовании рек ниже водохранилищ установками значительных мощностей.

Таким образом, при выборе схем использования энергии рек южного склона сельскими ГЭС небольшой мощности, в качестве расчетного расхода воды следует принимать расход воды высокой обеспеченности в году. Если исходить из соотношения среднемесячной гарантированной и установленной мощностей сельских изолированных ГЭС не более 1 : 2 и числа часов использования установленной мощности 7—8 тыс. в год, обеспеченность используемого расхода воды должна быть не ниже 75—85%. Даже в этом случае гарантированная среднесуточная мощность установок нередко оказывается более чем в два-три раза ниже установленной, а в отдельных случаях (р. Кудепста) падает до нуля (табл. 8). Повышение установленной мощности сельских ГЭС может оказаться целесообразным при объединении их в местные электроэнергетические системы, если используемые водотоки имеют несходный между собой режим стока, или если в системе имеются тепловые электростанции, а также при включении их в сеть значительно более мощной центральной электроэнергетической системы или же при наличии сезонных потребителей.

При использовании стока рек южного склона небольшими сельскими гидроэлектрическими станциями в пределах горных долин типична схема деривационной гидростанции с закрытым водоводом. Так, из десяти схем установок, намеченных нами при рекогносцировочном обследовании 1948 г., пять ГЭС имеют в составе схемы деривационный трубопровод, одна — тоннель и только в трех случаях намечен открытый водовод-канал. В нижней части течений рек более типичны ГЭС с открытой деривацией (канал, лоток). Несколько таких ГЭС было ранее намечено здесь Гидроэнергoprojectом (табл. 8).

Весьма большое распространение на реках Адлерского и Лазаревского районов могут иметь микроГЭС.

В условиях сравнительно мягких осадочных горных пород, которыми сложены склоны долин, при сооружении более крупных ГЭС, вероятно, окажется применимым новый отечественный метод проходки тоннелей — продавливанием, что позволит значительно удешевить и ускорить эту трудоемкую работу.

При проектировании деривационных трубопроводов небольшого диаметра (до 0,6—0,7 м) необходимо ориентироваться на цельнотянутые трубы.

В схемах небольших ГЭС на реках южного склона значительное распространение должен иметь донный тип водозабора. В некоторых случаях возможны плотины из местных материалов (земля, камень, дерево).

Ориентировочная характеристика выявленных схем гидроэлектрических установок

№№ г. п.	Название ГЭС	Река	В числителе — установленная мощность, в знаменателе — гарантирован- ная (95%) кет	Отдача энер- гии (в млн. квтч)	Капиталовложения		
					всего (в млн. руб.)	на кет (в тыс. руб.)	на 1 кетч (в руб.)
1	Татьяновская	Псеузапсе	3500/1500	25,0	45,0	12,9	1,80
2	Псеушко	Аше	200/90	1,9	2,5	12,5	1,25
3	Верхне-Ашинская	"	600/200	4,0	5,5	9,1	1,38
4	Красно-Александровская	"	1500/600	11,5	15,0	10,0	1,30
5	Мухорто-Полянская	"	700/600	5,0	17,5	25,0	3,50
6	Бекишайская	Бекишай (при- ток Аше)	1000/460	7,0	13,0	13,0	1,86
7	Бабук-Аульская	Шахе	1000/500	7,0	6,0	6,0	0,84
8	Кичмайская	"	1000/200	7,0	13,3	13,1	1,88
9	Совхозная	Монашка	200/130	1,6	2,9	12,6	1,80
10	Молдавская	Мзымта	3600/2640	29,2	26,8	7,6	0,93
11	Малая Сочинская	Сочи	1040/612	8,6	7,6	7,5	0,90
12	Хостинская	Хоста	246/76	1,6	3,2	13,1	2,03
13	Ермоловская	Псоу	720/600	5,4	6,5	9,1	1,23
14	Мацестинская	Мацеста	70/16	0,46	0,99	13,8	2,12
15	Кудепстинская	Кудепста	220/0	1,2	3,0	13,8	2,63

Примечание. Стоимость приведенного бетона в ценах 1949 г. для небольших Черноморской комплексной экспедиции СОПС АН СССР; ГЭС 10—15 — по материа-

При применении бетонных конструкций, объем бетона может быть значительно сокращен за счет размещения водозабора и отстойника в бычках водосливной части, по схеме инж. Ломая.

Бесплотинный водозабор, при помощи водоотводных хворостяно-каменных дамб, ненадежный в эксплуатации и требующий частого ремонта, не может рекомендоваться для ГЭС инженерных типов, несмотря на его простоту. Водозабор с донной решеткой успешно применен в схеме небольшой ГЭС на р. Бешенке (приток р. Мзымты) (фиг. 3), а бесплотинный водозабор дает, например, воду из р. Мзымты в Адлерскую малую ГЭС, из р. Шахе в мельничную канаву у с. Кичмай и т. д.

Основные параметры и ориентировочные технико-экономические показатели некоторых небольших гидроэлектрических установок, схематически рассчитанных, по данным полевых рекогносцировочных исследований 1948 г.,¹ а также ГЭС, предложенных в 1945 г. Гидроэнергопроектном, приведены в табл. 8. Схемы этих ГЭС подлежат дальнейшему уточнению. Намеченные гидроэлектрические установки можно разбить на три группы. Наиболее дешевыми установками по удельным энергоэкономическим показателям являются: Бабук-Аульская ГЭС на р. Шахе, Молдавская на р. Мзымте и Малая Сочинская на р. Сочи. Стоимость

¹ Кроме приведенных в табл. 1 ГЭС, при рекогносцировках 1948 г. выбраны схемы еще нескольких установок: в бассейнах р. Мзымты — у с. Казачий брод и р. Псоу — на р. Водонад и у с. Ермоловское.

Таблица 8

на некоторых реках Адлерского и Лазаревского районов Краснодарского края

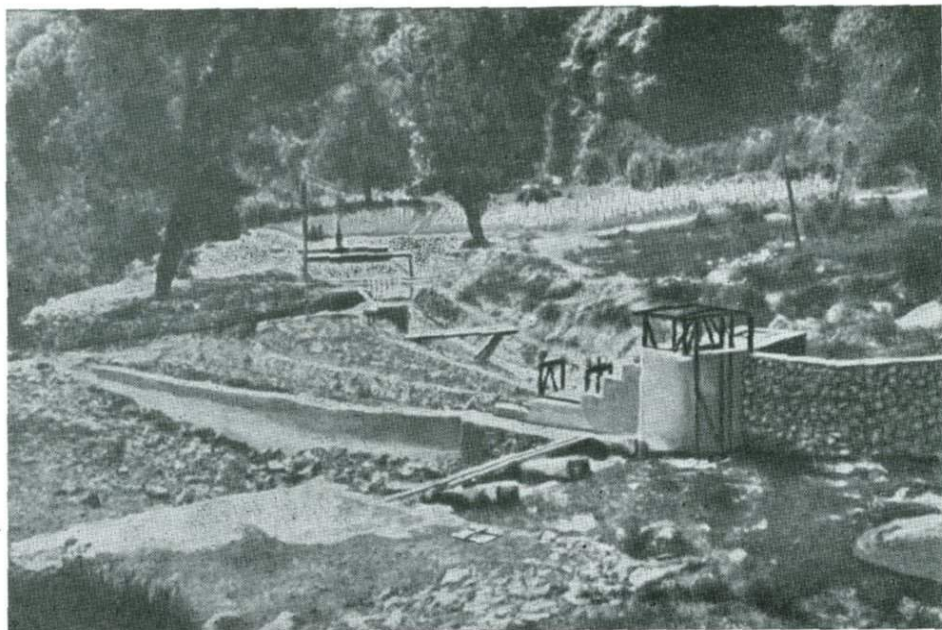
Себестоимость энергии (в коп.)	Тип плотины и водозабора	Высота плотины (в м)	Тип деривации	Длина деривации (в м)	Напор (в м)	Схема работы
14,5	Каменнонабросная	20	Тоннель	2,0	45	Работа в местной электросистеме
9,8	С донной решеткой		Канал	1,2	15	Изолированная работа
11,3	" " "		Деревянный трубопровод	1,2	10	Работа в местной электросистеме
10,7	" " "		То же	3,3	25	То же
28,2	Каменнонабросная	10	—	—	10	" "
15,0	С донной решеткой		Деревянный трубопровод	6,6	45	" "
6,9	Бетонная	5	Канал	0,3	15	Изолированная работа
15,0	Каменнонабросная	5	—		5	" "
14,5	С донной решеткой		Металлический трубопровод	0,6	50	" "
6,6	Бетонная	3	Канал	4,2	24	Работа в местной электросистеме
8,5	" " "	3	Канал, лоток	3,7	20	То же
20,0	С донной решеткой		" Канал "	1,0	10	" "
17,5	" " "		" Канал "	1,9	49	" "
35,0	" " "		" Канал "	1,3	15,5	Изолированная работа
23,8	" " "		Канал, лоток	2,6	17	" "

ГЭС — 350 руб. м³; ГЭС 1—9 — по данным расчетов гидроэнергетического отряда лам Гидроэнергопроекта, с переводом стоимостей в цены 1949 г.

их энергии в ценах 1949 г. составляет 6,6—8,5 коп/квтч, при удельных капиталовложениях 86—93 коп/квтч. Средние по энергоэкономическим показателям установки: Татьяновская на р. Псеуапсе, Верхне-Ашинская, Красно-Александровская, Бекишайская и Псеушко в бассейне р. Аше, Кичмайская и Совхозная в бассейне реки Шахе и Ермоловская на р. Псоу дают энергию стоимостью от 10,7 до 17,5 коп/квтч, при удельных затратах от 1,25 до 1,88 руб/квтч. Наиболее высокой стоимостью энергии — от 20 до 35 коп/квтч, при затратах от 2,03 до 3,50 руб/квтч, характеризуются приплотинная Мухорто-Полянская ГЭС на р. Аше и установки на малых реках береговых хребтов (Кудепста, Хоста, Мацеста). Анализ полученных данных показывает невыгодность применения приплотинных ГЭС на нижних участках течения рек южного склона, вследствие большой ширины речных долин; так, створ Мухорто-Полянской плотины имеет ширину 300 м по низу. Небольшие уклоны при малых гарантированных расходах воды делают сравнительно дорогими и маломощными также установки на устьевых участках малых рек береговых хребтов.

В горной части основных речных бассейнов (Мзымты, Шахе, Псоу, Псеуапсе, Аше) могут быть построены достаточно эффективные ГЭС как на основных реках, так и на их притоках. В общем следует отметить, что, хотя затраты на сооружение ГЭС на реках южного склона не могут считаться низкими, использование водной энергии для электрификации сельского хозяйства все же здесь более выгодно, чем эксплуатация тепловых электростанций, стоимость энергии которых иногда в десять и более раз выше, чем стоимость энергии возможных ГЭС.

Как в Адлерском, так и в Лазаревском районах могут быть выбраны эффективные участки рек для строительства сельских ГЭС различной мощности и назначения. Одни из них, например, Малая Краснополянская на р. Бешенке и Совхозная на р. Монашке (приток р. Шахе), используя энергию малых высокогорных рек, могут снабжать небольшие изолированные селения, или предприятия, далеко отстоящие от



Фиг. 3. Плотина на р. Бешенке (приток Мзымты)

крупных энергетических узлов, другие, например, Бабук-Аульская — давать энергию для механизации лесоразработок, третьи установки — на реках Псецуапсе, Сочи, Аше, Мзымте, не только снабжать группы селений, но и существенно подпитывать центральную электроэнергетическую систему. В этом отношении особый интерес представляют ГЭС на реках Псецуапсе, Сочи и Аше, резко отличающихся по режиму стока от Мзымты, которая питает основную (Краснополянскую) ГЭС местного центрального электроэнергетического узла.

Татьяновская ГЭС на р. Псецуапсе — одна из наиболее важных для такого использования. Установленная мощность Татьяновской ГЭС в этом случае может быть значительно повышена, сравнительно с указанной в табл. 8, что приведет к снижению удельных капиталовложений.

Глава 2

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ТУАПСИНСКОГО И ГЕЛЕНДЖИКСКОГО РАЙОНОВ

а. Местные энергетические ресурсы

Туапсинский и Геленджикский районы, вытянутые узкой полосой между водораздельной линией Главного Кавказского хребта и берегом Черного моря, отличаются значительным разнообразием природных

условий (рельефа, климата, геологического строения, растительности и гидрологии). Пестрота естественных условий влияет на характер размещения и возможного использования местных энергетических ресурсов, к числу которых относятся: энергия горных рек, ветра, волн морского прибоя и лесотопливных ресурсов.

Энергия горных рек — основной вид местных энергетических ресурсов Туапсинского и Геленджикского районов. Реки сравнительно равномерно распределены на территории районов, однако относительная насыщенность гидроэнергетическими ресурсами 1 км² площади резко снижается по мере продвижения с юго-востока к северо-западу.

Энергия ветра имеет максимальную мощность на гребне северо-западной оконечности Главного Кавказского хребта, носящего название Маркотхского в районе Новороссийск — Геленджик. Скорости ветра здесь достигают почти предельной для СССР величины. Прибрежная полоса и склоны гор северо-западной части Геленджикского района, до долины р. Пшава, также подвержены действию значительных по силе ветров, скорости которых по мере продвижения к юго-востоку заметно снижаются.

Энергией морских прибойных волн обладает узкая полоса побережья Черного моря.

Леса покрывают почти всю территорию Туапсинского района и юго-восточную часть Геленджикского района. В направлении к северо-западу мощность лесного покрова уменьшается, а в районе Геленджика леса почти полностью сменяются низкорослым, главным образом колючим, кустарником.

По комплексу естественных, экономгеографических и энергетических условий, территория районов может быть разделена на три участка:

а) юго-восточный участок — к востоку от долины р. Небуг, тяготеющий к г. Туапсе;

б) северо-западный участок — к западу от долины р. Мезыб, прилегающий к г. Геленджику;

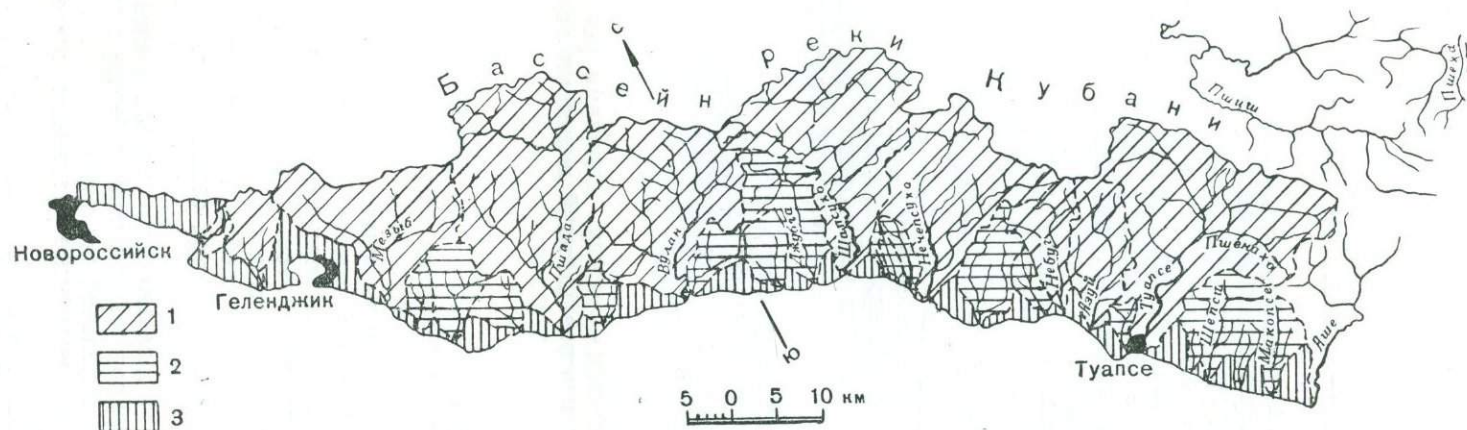
в) центральный участок — между долинами рек Небуг и Мезыб, удаленный от крупных центров и линий железных дорог.

Реки Туапсинского и Геленджикского районов по характеру бассейнов и расположению могут быть отнесены к типам, установленным нами для Адлерского и Лазаревского районов Краснодарского края: основные горные реки южного склона Главного Кавказского хребта и их притоки, малые реки береговых хребтов и мельчайшие реки побережья.

Наиболее крупные, основные горные реки Туапсинского и Геленджикского районов стекают с Главного Кавказского хребта, имеющего здесь небольшие абсолютные высоты (300—1000 м), и с его отрогов. Их бассейны примакают на севере к бассейну р. Кубани (фиг. 4). Малые реки береговых хребтов своими бассейнами располагаются в междуречьях рек Главного хребта. Мельчайшие реки побережья покрывают прибрежные склоны густой сетью русел.

На участке Туапсе — Геленджик длины основных долин, дренирующих склоны, в среднем составляют около 20 км. Далее к северо-западу Главный хребет почти вплотную подходит к берегу моря и речная сеть состоит исключительно из мельчайших ручьев, русла которых, углубленные в горный массив и называемые местными жителями «щелями», имеют в длину от 3 до 6 км.

Все реки Туапсинского и Геленджикского районов питаются в основном за счет поверхностного стока атмосферных осадков и имеют весьма



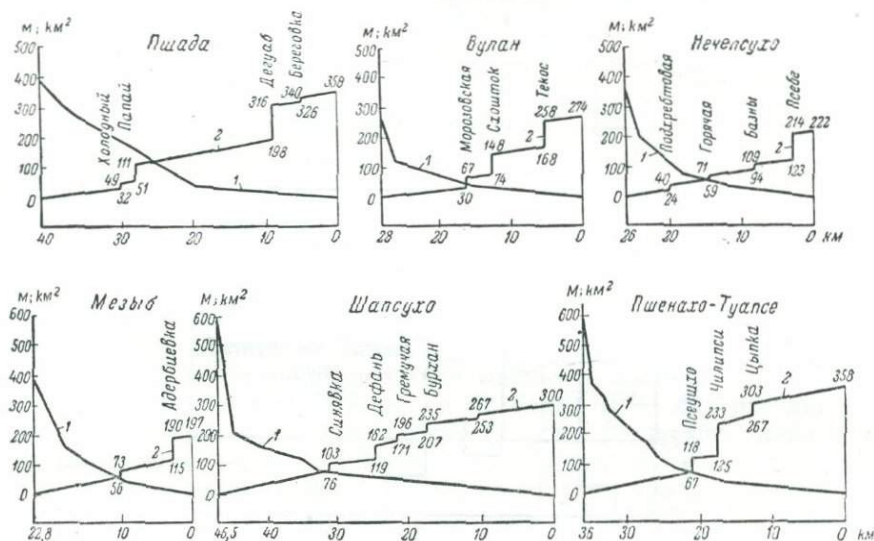
Фиг. 4. Схема речной сети Туапсинского и Геленджикского районов Краснодарского края:

1 — бассейны основных горных рек Главного Кавказского хребта; 2 — бассейны малых рек береговых хребтов; 3 — бассейны мельчайших рек побережья.

непостоянный режим. Высокие летние ливневые и зимние паводки сменяются длительными периодами маловодья.

Наиболее низкие горизонты имеют место летом и осенью, когда многие реки (главным образом Геленджикского района) полностью пересыхают, в других наблюдается прерывистое течение и лишь некоторые имеют постоянный, слабый ток воды. Наименьшую обеспеченность водой в эти периоды имеет среднее и нижнее течение рек.

В паводки горизонт воды в реках нередко поднимается на 5—6 м и более. Лишь в своих верховьях реки имеют большие продольные уклоны русла, в устьевых же частях они обычно ничтожны. Продольные профили рек приближаются к параболическому виду (фиг. 5).



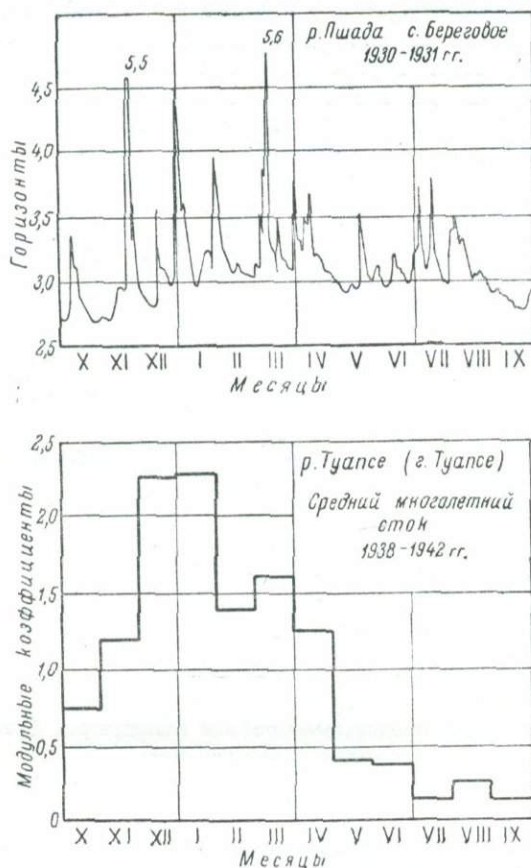
Фиг. 5. Схематические продольные профили главных рек Туапсинского и Геленджикского районов:

1 — продольный профиль; 2 — площади бассейна (в км²).

В результате сезонного непостоянства расходов воды, потенциальные мощности рек Туапсинского и Геленджикского районов отличаются значительной неравномерностью, которую можно смягчить лишь при условии регулирования стока. Использование энергии рек Туапсинского и Геленджикского районов без регулирования стока не может дать гидростанций сколько-нибудь значительной обеспеченной мощности. Регулирование стока важно также для ирригации, водоснабжения и уменьшения катастрофических паводков, ежегодно приносящих большой ущерб сельскому и дорожному хозяйству.

Основные горные реки южного склона Главного Кавказского хребта — Туапсе, Агой, Небуг, Нечепсухо, Шапсухо, Вулан, Пшадя, Мезыб и их притоки являются главными источниками водной энергии в Туапсинском и Геленджикском районах. Наиболее крупные из них по площади бассейна — Пшадя (358 км²), Туапсе (359 км²), Шапсухо (300 км²), Нечепсухо (222 км²) и Вулан (274 км²). По величине стока первое место занимает р. Туапсе, имеющая средний годовой расход воды около 10 м³/сек; в ее бассейне наблюдаются наиболее высокие модули стока (более 30 л/сек в среднем).

Снижение абсолютных высот Главного Кавказского хребта к северо-западу сопровождается значительным уменьшением модуля стока: р. Пшада, при почти равной площади бассейна с р. Туапсе, имеет в три-четыре раза меньший сток. Сезонное распределение стока рек Главного Кавказского хребта в рассматриваемых районах характеризует приведенные выше графики стока рек Пшада и Туапсе (фиг. 6).



Фиг. 6. Характеристика стока рек Туапсинского и Геленджикского районов.

Паводковые пики на реках Главного Кавказского хребта наблюдаются круглый год, имея наибольшую частоту в зимние месяцы (ноябрь — март), когда сильные снегопады чередуются с дождливой и теплой погодой. Примером катастрофических паводков может служить ливневый паводок, имевший место 11 июля 1949 г. на реках Туапсинского района, смывший десятки гектар пашен и разрушивший капитальные мосты.

Горные реки Главного Кавказского хребта в среднем и нижнем течении имеют развитую пойму с мощными галечными отложениями, обладающими значительными аккумулярующими способностями. Зимнего ледостава на реках Главного Кавказского хребта не наблюдается.

Отсутствие достаточных данных о стоке рек и продольных уклонах не позволяет сделать подробный подсчет их энергетических ресурсов

и заставляет ограничиться приближенной характеристикой (табл. 9). Потенциальные русловые мощности основных рек, приведенные в таблице, подсчитаны приближенно, причем средний модуль стока принят по соображению с картой изолиний модуля стока, опубликованной Б. Д. Зайковым, а падения и площади бассейнов рек — по карте 1 : 100 000.

Таблица 9

Сток и потенциальная русловая мощность основных рек
Туапсинского и Геленджикского районов

Река	Площадь бассейна (в км ²)	Модуль стока (в л/сек)	Мощность (в квт)	Удельная мощность (в $\frac{\text{квт}}{\text{км}^2}$)
Мезыб	197	8	1 700	8,6
Пшада	359	10	4 600	12,8
Вулан	274	15	2 500	9,1
Шапсухо	300	18	5 800	19,3
Нечепсухо	222	20	2 900	13,0
Туапсе	358	30	12 700	35,3
Всего	—	—	30 200	—

Русловая мощность основных шести рек (Пшада, Вулан, Нечепсухо, Шапсухо, Туапсе и Мезыб) оказалась ориентировочно равной 30 тыс. квт. Промышленная полезная мощность составит не более 40%, при условии регулирования стока, и не более 10%, без регулирования стока, по расходам воды 75% обеспеченности. Мощность главных притоков рек следует оценить примерно в 30% мощности основного русла. Таким образом можно ориентировочно считать промышленную мощность основных рек и их главных притоков равной 15—16 тыс. квт, при наличии регулирования стока (средняя годовая мощность), и около 4 тыс. квт, без регулирования стока (мощность 75% обеспеченности). Схема гидроэнергетических ресурсов дана на фиг. 7.

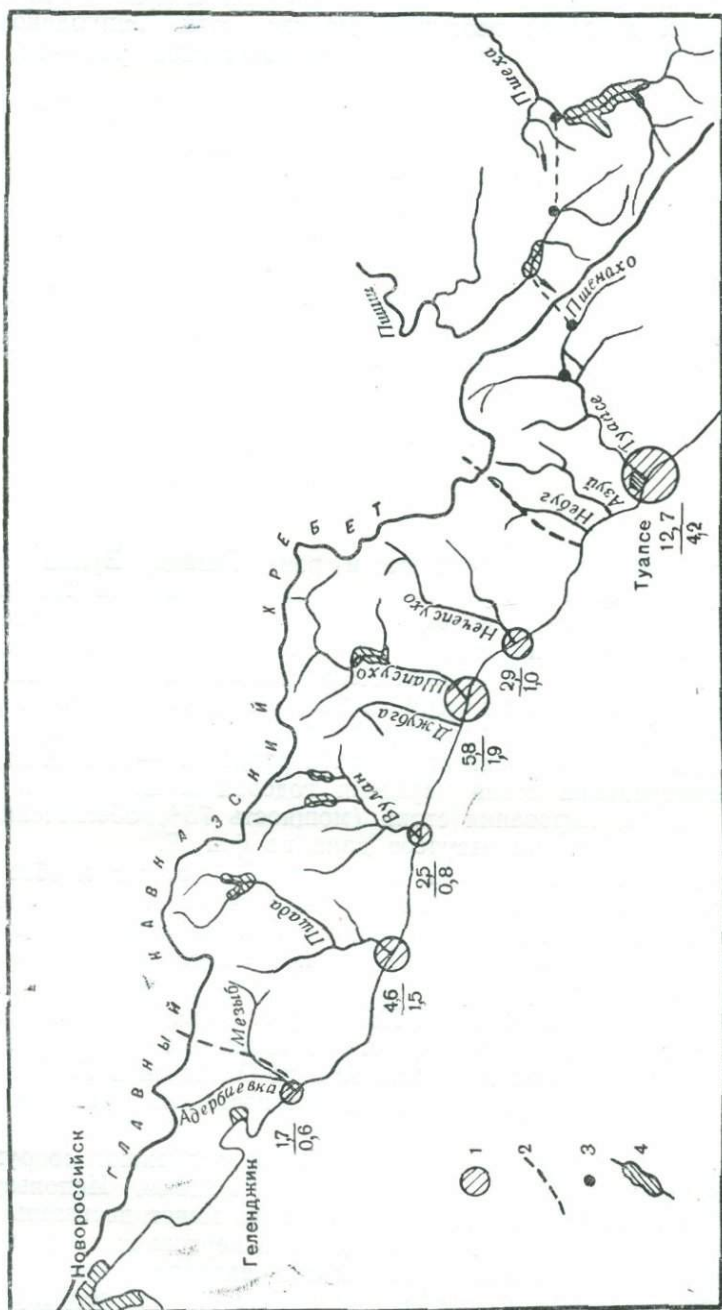
Энергия основных горных рек Главного Кавказского хребта и их притоков может быть использована на ряде участков гидросиловыми установками небольшой мощности. Одним из недостатков явится сезонная неравномерность, а иногда и полное прекращение работы в маловодные сезоны.

Так, ГЭС, проектируемая на р. Пшада у с. Береговка, при установленной мощности 55 квт должна в августе снижать среднюю месячную мощность до 7 квт. Летняя мощность Архипо-Осиповской ГЭС, в среднем, не превысит 50% установленной мощности, которая намечена в 60 квт.

Естественные условия долин, как правило, допускают сооружение лишь деривационных ГЭС, с невысокими плотинами. Используемые напоры в нижнем и среднем течении рек редко могут достигать 10 м; ГЭС с более высокими напорами возможны в верховьях основных рек и на их притоках, а также при сооружении водохранилищ сезонного регулирования. Из типов водозабора, при отсутствии регулирования стока, предпочтителен донный водозабор, для которого не опасны паводки, несущие большие количества наносов камня и плавника, нередко состоящего из целых стволов деревьев.

Стоимость 1 квт мощности небольших установок на исследуемых реках, в ценах 1949 г., по аналогии с ГЭС на реках Лазаревского

района (Аше, Псезуапсе и их притоки), имеющих сходный характер долин и питания, составит от 6 до 25 тыс. руб., капиталовложения на 1 квтч от 1,0 до 3,5 руб., а стоимость энергии от 6 до 35 коп/квт.



Фиг. 7. Схема гидроэнергетических ресурсов Туапсинского и Геленджикского районов:

1 — потенциальные мощности основных рек (в тыс. квт) среднегодовые (числитель) и 75% обеспеченности (знаменатель); 2 — возможные границы энергообеспечения от крупных электростанций Краснодарского края; 3 — ГЭС на соросе стока из Кубанского бассейна; 4 — районы возможных водохранилищ.

Наиболее дорогими установками являются ГЭС с регулируемыми водохранилищами (13—25 тыс. руб/квт), а менее дорогие ГЭС с водозаборными плотинами и неравномерной в году мощностью (5—14 тыс. руб/квт). Стоимость сооружения каждого из регулирующих

водохранилищ, в условиях долины исследуемых рек, при высотах подпора в несколько десятков метров, может быть оценена десятками миллионов рублей. Наличие регулирования стока позволяет не только более полно использовать энергию рек и получить большие мощности, но и обеспечить водой потребности долин в орошении и обводнении. Эти потребности при естественном режиме стока рек не могут быть покрыты, что вредно отзывается на полеводстве и садоводстве исследуемых районов. Поэтому значительная часть затрат на сооружение регулирующих водохранилищ должна быть отнесена на ирригацию.

Несмотря на некоторые трудности использования энергии рек Главного Кавказского хребта, они могут и должны служить главной основой электрификации ряда селений Туапсинского и Геленджикского районов, до присоединения их к сетям центральной Краснодарской электросистемы. Регулирование стока резко повысит эффективность энергетического и водохозяйственного использования изучаемых рек. Хотя большинство речных долин не обладает природными условиями, благоприятствующими сооружению водохранилищ достаточной емкости, но некоторые их участки могут быть отмечены, как подлежащие специальному изучению, с целью устройства водохранилищ, тем более, что многократное чередование паводков и малых расходов воды позволяет получить хорошие результаты при сравнительно малых объемах водохранилищ (вмещающих лишь несколько процентов годового стока). Рекогносцировки 1949 г. показали необходимость обратить особое внимание на регулирование стока рек Шапсухо, Вулан и Пшада. В долинах этих рек есть ряд участков, благоприятствующих сооружению регуляторов стока.

На р. Пшада, непосредственно ниже устья р. Папай, может быть выбран створ в плотных известняках шириной 50—70 м по низу, допускающий подпор до 40—50 м. Хорошие створы имеет также ущелье р. Папай, в нижнем течении.

На р. Вулан, ниже устья р. Морозова щель, и на притоках Схошток (в 5 км ниже с. Афипс) и Морозова щель (в нижнем течении) могут быть выбраны узкие створы в известняках и песчаниках.

На р. Шапсухо, в петле между с. Бурханы и с. Тенгинка, имеются сравнительно узкие створы в мергелях. Здесь возможен подпор до 40—50 м при ширине створа по низу около 60 м.

На р. Азербиевка — ниже с. Азербиевка, в мергелях.

На р. Мезыб — ниже устья р. Азербиевка.

На некоторых реках для увеличения используемого стока в маловодные сезоны было бы полезным устройство в аллювии поймы подземных водозаборных перемычек для перехватывания фильтрационных вод.

Малые реки береговых хребтов — Джанхот, Тешебс, Джубга, Кабак, Щепси, Макопсе и другие значительно менее водоносны, чем реки Главного Кавказского хребта, но нередко обладают большими продольными уклонами русла. Использование энергии этих рек возможно лишь мельчайшими гидросиловыми установками. Сток малых рек береговых хребтов еще менее постоянен, чем основных рек — высокие паводки порой чередуются с полным пересыханием русла. Условия регулирования стока обычно неблагоприятны.

Мельчайшие реки побережья, как правило, не могут служить источниками энергоснабжения. В большинстве случаев — это сухие русла (особенно в северо-западной части территории), заполняемые водой лишь во время дождей.

Наиболее крупные гидроэлектрические установки в исследуемых районах могут быть сооружены в бассейне р. Туапсе, в 20 км от г. Туапсе, в районе с. Анастасьевка, на сбросе стока рек Кубанского бассейна Пшиш и Пшеха.¹

Энергию ветра в исследуемых районах характеризуют метеорологические станции Маркотхский перевал, Новороссийск и Туапсе.

По данным многолетних наблюдений, ветры Маркотхского хребта имеют среднюю скорость 9,0 м/сек. Средняя скорость ветра в Новороссийске равна 4,9 м/сек, а в Туапсе 2,8 м/сек.

Сезонное распределение энергии ветра приведено в табл. 10.

Средние месячные скорости ветра
(в м/сек)

Таблица 10

Станции \ Месяцы	Месяцы												Среднее за год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Маркотхский перевал	10,9	10,4	10,0	9,2	8,0	7,1	8,9	7,6	8,3	9,2	10,5	10,5	9,0
Новороссийск . . .	6,5	5,6	5,6	4,8	4,0	3,3	3,4	4,0	4,4	5,4	6,1	5,9	4,9
Туапсе	5,3	3,2	2,9	2,4	1,8	1,9	1,8	2,0	2,0	2,4	3,7	3,7	2,8

Несмотря на значительные скорости ветра в Геленджикском районе, энергия его не используется, если не считать немногих мельчайших установок. Одна из малых ветроэлектрических станций, расположенная в с. Криница, имеет колесо диаметром 1,3 м и работает на зарядку аккумулятора, освещающего несколько домов и питающего радиостанцию.

Энергия ветра в Геленджикском районе могла бы широко использоваться как малыми сельскохозяйственными механическими и электрическими установками, так и крупными ветро-электростанциями промышленного типа.

Применение малых ветряков с механической передачей в условиях Геленджикского района возможно для откачки вод из речных русел и из галечных отложений речных пойм, для целей водоснабжения селений и ирригации полей в засушливые периоды года и для механизации на базе энергии ветра некоторых сельскохозяйственных работ (помол, кормоприготовление, молотба и т. д.).

В некоторых долинах (Мезыб, Азербиевка) возможно устройство гидро-ветро-аккумулирующих установок небольших мощностей, включающих ступенчатые каскады гидростанций с небольшими водохранилищами и ветросиловые (механические) установки, энергия которых должна служить для повторной, многократной перекачки вверх по ступеням каскадов уже сработавшей гидростанциями воды.

В районе Геленджика было бы желательным комбинированное использование небольших ВЭС в системе с тепловыми электростанциями, что позволило бы экономить привозное топливо.

Вопрос об использовании энергии ветра Маркотхского хребта для нужд большой энергетики рассмотрен нами выше.

¹ Целесообразность переброски стока рек Кубанского бассейна р. Туапсе указана нами в статье «Гидроэнергетические ресурсы Северного и Западного Кавказа и условия их использования для развития народного хозяйства». Сооружение Туапсинских ГЭС даст возможность значительно повысить мощность Краснодарской электросистемы и поставить вопрос о присоединении к ней сельских потребителей Туапсинского и Геленджикского районов.

Идея использования энергии волн морского прибоя может иметь различные решения. Нами принята схема, предложенная Е. С. Автономовым (Морской геофизический институт АН СССР), сочетающая берегоукрепительные и энергетические сооружения.¹ В этой схеме верхняя часть бетонной берегоукрепительной дамбы заканчивается гребенкой, представляющей собой каналы переменного сечения, в которых резко увеличивается высота всплеска набегающих волн. Дамбою ограждается вытянутый вдоль берега бассейн, снабженный на дне отверстиями, в которые вмонтированы низконапорные турбины. Переливающаяся через гребенку вода поступает в бассейн, а затем проходит через турбины и по донным каналам вытекает обратно в море. К. п. д. установки, по данным Е. С. Автономова, должен составлять 0,4—0,5.

Рекогносцировочные исследования показали, что на Кавказском побережье Черного моря при умеренных волнениях (4—5 баллов) высота волн составляет 0,75—2,0 м; а удельная потенциальная мощность брутто на 1 пог. м береговой линии колеблется от 2,6 до 15,0 квт. В сильные волнения (6—7 баллов) высота волн достигает 2—3,5 м, а удельная мощность 15—50 квт/пог. м и более. Повторяемость умеренных и сильных волнений, по данным за шесть лет, составляет зимой 75%, а за год около 50%. Промышленная используемая мощность подлечит технико-экономическому выбору: она, вероятно, не превысит 2—3 квт/пог. м. Непостоянство мощности волновых ГЭС указывает на необходимость аккумуляции их энергии или же совместной работы их с другими электростанциями. По режиму отдачи выгодно сочетание волновых установок с ГЭС на реках высокогорного питания, отличающихся летним максимумом мощности.

В пределах Краснодарского края использование энергии волн морского прибоя в сочетании с берегоукреплением было бы наиболее целесообразным на участке побережья Туапсе — Адлер, где существующие волноотбойные стенки требуют ремонта. Участки для небольших опытных волновых ГЭС, инженерная схема и энергоэкономические показатели которых исследуются в Черноморском отделении Морского геофизического института АН СССР, можно было бы выбрать вблизи Туапсе и Сочи, например, у Мацестинского морского вокзала.

Леса и кустарники различных, преимущественно твердых, пород покрывают более 80% территории Туапсинского и Геленджикского районов. Лишь небольшие площади речных пойм, возделанных и заселенных земель и гребни некоторых хребтов свободны от растительности.

Площадь зеленого массива составляет около 200 тыс. га, а запасы древесины исчисляются десятками миллионов кубических метров. При различных сочетаниях лесных пород запасы древесины (по данным «Атласа энергетических ресурсов СССР») здесь составляют на 1 га в среднем от 100 до 150 м³.

Эксплуатация лесных богатств развита чрезвычайно слабо. Правильное ведение лесного хозяйства, с учетом водоохранного, противооползневого и курортно-бальнеологического значения лесов Туапсинского и Геленджикского районов, позволило бы снабжать лесными отходами мобильные установки (автомобили и тракторы), а в некоторых удаленных от побережья и не имеющих достаточной водной энергии селениях питать и малые временные стационарные электростанции.

¹ В 1949 г. Е. С. Автономов был привлечен к участию в исследованиях с целью выбора мест, удобных для сооружения морской волновой ГЭС на участке Новороссийск — Сочи.

б. Электропотребление и перспективы электрификации сельского хозяйства

При расчете электрических нагрузок для сельскохозяйственных потребителей Туапсинского и Геленджикского районов использованы удельные нормы, выведенные нами для колхозов Адлерского и Лазаревского районов при исследованиях энергетического отряда Черноморской комплексной экспедиции в 1948 г., на основе норм, принятых в Министерстве земледелия СССР и дополнений по материалам проектных и научно-исследовательских учреждений, применительно к Краснодарскому краю и к Абхазской АССР. Нормы электропотребления для электросушки плодов, чая и табака приняты по данным Абхазского научно-исследовательского института. Нормы на освещение, бытовое обслуживание, водоснабжение, а также на подсобные предприятия отнесены на один двор, нормы по электрификации животноводства — на одну голову скота, нормы на орошение земель и сушку продукции — на один гектар земельной площади (садов, огородов и др.).

Исходные для расчета данные о количестве дворов и голов скота, площадях земельных угодий, подсобных предприятиях и других потребителях электроэнергии на перспективный 1955 г. были получены от сельскохозяйственной группы Черноморской комплексной экспедиции СОПС АН СССР.

По аналогии с Адлерским и Лазаревским районами можно принять, что максимальная (совмещенная) мощность составит, с учетом сушки и орошения, около 2,5 квт/двор. Расчеты показали, что для покрытия электрических нагрузок сельского хозяйства Туапсинского и Геленджикского районов необходимы электростанции мощностью:

а) для юго-восточного участка территории (к востоку от р. Небуг) — 1250 квт;

б) для центрального участка (от долины р. Небуг до долины р. Мезыб) — 5000 квт;

в) для северо-западного участка (к западу от р. Мезыб) — 1250 квт. Суммарная потребляемая мощность составит 7500 квт. Без учета сушки и орошения мощности электростанций могут быть уменьшены в три-четыре раза.

В Туапсинском и Геленджикском районах почти нет действующих ГЭС, сельские энергетические установки имеют малые мощности, потребляют в основном жидкое топливо и отличаются высокой стоимостью энергии.

Рекогносцировочные исследования приводят к следующим заключениям о рациональных путях развития электроэнергетического хозяйства районов.

На ближайшем этапе для электроснабжения селений Туапсинского и Геленджикского районов могут служить малые гидросиловые, тепло-силовые и ветросиловые установки. В Туапсинском районе и в юго-восточной части Геленджикского района главными источниками энергии являются небольшие ГЭС на основных горных реках и на их притоках. В некоторых горных селениях, на первом этапе (до организации постоянного электроснабжения) возможны малые установки временного типа на отходах лесного хозяйства. В северо-западной части Геленджикского района основную энергию должны давать ТЭС на привозном топливе и ветросиловые установки (возможно, в сочетании с гидроэлектростанциями).

Во всех случаях желательна совместная работа установок разного типа (в частности ГЭС и ветросиловых установок) в микроэнергетических системах, повышающая уровень использования энергетических ресурсов и надежность электроснабжения.

Главные селения районов: Архипо-Осиповка, Джубга, Пшада, Дефановка, Береговка и некоторые другие, расположенные на наиболее крупных реках, должны использовать в первую очередь энергию этих рек, имея кроме того резервные теплосиловые двигатели.

При дальнейшем развитии электроэнергетики в районах Черноморского побережья Краснодарского края (после постройки Туапсинских или каких-либо иных крупных ГЭС), селения, расположенные вблизи г. Туапсе, вдоль участка побережья Туапсе — Сочи и линии железной дороги Туапсе — Белореченская, смогут получить электроэнергию от станций южной секции Краснодарской электроэнергетической системы, высоковольтная линия которой пройдет по направлению Сочи — Туапсе — Майкоп.

Северо-западный участок территории должен будет получать энергию от электростанций Новороссийска, связанных с Краснодарской электроэнергетической системой.

Центральный участок исследуемой территории, в ориентировочных границах от долины р. Небуг до долины р. Мезыб, повидимому, должен будет и на этом этапе в основном ориентироваться на местные энергетические ресурсы, так как в условиях слабой населенности, значительной разобщенности селений и тяжелой топографии, питание их электроэнергией от сетей Туапсинского или Новороссийского узлов окажется затруднительным. Для повышения мощности местных гидроэлектростанций необходимо изыскать возможности регулирования стока основных рек, а также всемерно привлекать энергию ветра, что позволит провести сплошную электрификацию сельского хозяйства и этой части территории, промышленные ресурсы водной энергии которой достаточны для покрытия нагрузок. Следует, однако, отметить высокую стоимость энергии ГЭС в условиях бассейнов местных рек. В связи с этим, наряду с вариантом полного покрытия потребностей центрального участка за счет энергии местных ресурсов и привозного топлива, должны быть рассмотрены варианты сквозной высоковольтной связи Туапсе — Геленджик — Новороссийск (около 150 км), для питания крупных селений: Джубга, Архипо-Осиповка, Пшада, Дефановка, Береговка и вариант подачи электроэнергии в район с. Архипо-Осиповки из Краснодарского энергетического узла, через Главный Кавказский хребет, имеющий здесь небольшую высоту (высота перевалов 300—400 м над уровнем моря). При расстоянии около 80 км и стоимости одноцепной линии 35 кв порядка 75—100 тыс. руб. за 1 км, сооружение только линии, без подстанций и дорог, потребует капитальных вложений 6—8 млн. руб. В условиях трассы, проходящей в гористой и лесистой местности, ее полная стоимость, повидимому, достигнет 15—20 млн. руб. Некоторое сокращение длины линии (на 20—25%) может быть получено при присоединении к сетям Краснодарского узла в районе селений Северская или Горячий Ключ (если последний будет к этому времени связан линией с Краснодаром).

Подача энергии из Краснодарской электросистемы не исключает целесообразности сооружения на реках Туапсинского и Геленджикского районов регулирующих водохранилищ и энергетического использования наиболее выгодных участков рек.

Глава 3

**ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СХЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
СЕЛЬСКИХ РАЙОНОВ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ
КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ**

Изучение комплекса естественных и народнохозяйственных условий Адлерского, Лазаревского, Туапсинского и Геленджикского районов в части расселения, потребностей сельского хозяйства в электроэнергии, существующей и планируемой схем покрытия этих потребностей, а также потенциальных мощностей, территориального размещения и условий использования гидроэнергетических ресурсов рек южного склона позволяет сделать следующие предложения и выводы.

А. По вопросам электроснабжения сельского хозяйства Адлерского и Лазаревского районов.

1. В пределах изучаемой территории могут быть выделены указанные на фиг. 8 следующие энергетические зоны:

а) зона преимущественного централизованного электроснабжения, охватываемая высоковольтными сетями Сочинского электроэнергетического узла Краснодарской электросистемы, на базе строящейся Краснополянской ГЭС, проектируемых ГЭС средней мощности на реках южного склона и существующих тепловых электростанций; в дальнейшем Сочинский узел должен быть присоединен к Краснодарской электросистеме, включающей гидроэлектростанции на реках Кубанского бассейна;

б) зона местных сельских электроэнергетических систем на базе ГЭС небольшой мощности и, в виде исключений, тепловых электростанций в наиболее населенных участках южного склона, не охватываемых сетями центрального электроэнергетического узла, с последующим включением в этот узел;

в) зона изолированного электроснабжения селений, значительно удаленных от электрических сетей как центрального узла, так и местных электроэнергетических систем.

2. К зоне преимущественного централизованного электроснабжения необходимо относить селения, лежащие вблизи ее генерирующих электростанций и линий электропередачи, в первую очередь лежащие к востоку и к юго-востоку от г. Сочи, и главным образом полосу, примыкающую к побережью. В дальнейшем возможно расширение границ зоны централизованного электроснабжения к северо-западу от Сочи и в глубь территории Адлерского и Лазаревского районов. В итоге централизованным электроснабжением должны быть охвачены населенные пункты, расположенные вдоль побережья, по долине р. Мзымты и по долинам малых рек береговых хребтов, т. е. вся прибрежная чайно-овощная зона и часть среднегорной чайно-табачной зоны.

После пуска Краснополянской ГЭС Сочинский электроэнергетический узел будет временно располагать в некоторые сезоны свободной мощностью, за счет которой могут быть частично покрыты нагрузки прибрежной (чайно-овощной) и низкогорной (чайно-табачной) зон.

3. Увеличение мощности Сочинского узла необходимо не только для питания сельского хозяйства, но и для электрификации ж.-д. линии Сочи — Армавир. В настоящее время рассматривается вопрос о связи Сочинского узла с установками на р. Белой. В частности, на основе наших исследований, предложено новое решение проблемы связи Мзымта — Белая посредством регулирующих Пшиш-Туапсинских ГЭС значительной мощности на сбросе части стока рек Пшиш и Пшеха

(бассейн Кубани) в бассейн р. Туапсе, что позволит полностью обеспечить энергией всех потребителей.¹

Некоторое усиление осенне-зимней мощности Сочинского узла может оказаться возможным за счет сооружения гидроэлектрических установок нового типа, основанных на использовании волновой энергии моря и совмещаемых с берегоукрепительными работами. По подсчетам Е. С. Автономова, автора схемы таких ГЭС (Морской гидрофизический институт АН СССР), укрепление береговой полосы Черного моря на участке Туапсе — Сочи, протяжением 1 пог. км, способно дать установку мощностью не менее 1,5 тыс. квт, с осенне-зимним максимумом. Схема волновой установки, нуждающаяся в дальнейшей разработке, может быть экспериментально проверена на примере такой ГЭС в районе Сочи, где необходимы берегоукрепительные работы.

При дальнейшем развитии Сочинского узла должны быть учтены потребности сельского хозяйства всей прибрежной и части среднегорной зоны. Развитие Сочинского узла не исключает целесообразности строительства небольших ГЭС на местных реках. В первую очередь такие ГЭС следует построить на реках Сочи, Хосте, Мзымте, в их нижнем или среднем течении.

4. К зоне местных сельских электроэнергетических систем необходимо отнести участки территории Адлерского и Лазаревского районов с достаточной плотностью населения, которые не могут быть электрифицированы от сетей центрального Сочинского узла, т. е. главным образом долины основных горных рек: Шахе, в районе с. Кичмай-Головинка; Аше у с. Красно-Александровское; Псоу в районе с. Ермоловское-Пиленково и другие, а также (до развития центрального узла) прибрежную полосу и долины малых рек береговых хребтов северо-западнее Сочи. Основными генерирующими установками этой зоны, совпадающей с низкогорной чайно-табачной зоной и частично с прибрежной чайно-овощной зоной, должны служить гидроэлектрические установки мощностью в сотни, реже более тысячи киловатт, снабжающие электроэнергией окрестные селения и объединяемые как между собой, так и с существующими в этих селениях тепловыми электростанциями. Примерами таких ГЭС могут служить намечаемые: Татьяновская ГЭС на р. Псеуапсе, некоторые из установок в бассейне р. Аше, ГЭС на р. Мзымте у с. Казачий Брод или Молдавская ГЭС, Ермоловская ГЭС на р. Псоу и другие. По мере развития мощности центрального Сочинского энергетического узла и его сетей к северо-западу и к юго-востоку от Сочи, отдельные, наиболее крупные из местных электроэнергетических систем должны будут вливать энергию в центральный узел. В зоне местных систем не исключается целесообразность сооружения малых ГЭС в отдельных колхозах.

5. Зона изолированного электроснабжения обнимает большую и высокогорную часть Адлерского и Лазаревского районов, соответствуя горной табачно-садоводческо-животноводческой сельскохозяйственной зоне. Типичными электростанциями этой зоны должны явиться небольшие и малые ГЭС и газогенераторные установки на отходах древесины, снабжающие электроэнергией удаленные одно от другого горные селения, отдельные колхозы и предприятия, объединение которых вокруг общей генерирующей точки экономически не может быть оправдано. Многочисленные примеры малых изолированных электростанций

¹ См. нашу статью «Гидроэнергетические ресурсы Северного и Западного Кавказа и условия их использования для развития народного хозяйства» в данном труде.

можно найти как среди уже действующих и строящихся на территории Адлерского и Лазаревского районов гидроэлектрических и тепловых установок, так и в числе вновь намеченных гидростанций. Такими электростанциями являются действующие, строящиеся и намечаемые малые ГЭС в Красной Поляне на р. Бешенке, в г. Адлере (на отводе из р. Мзымты), в селениях и колхозах Адлерского и Лазаревского районов: Айбга (на реках Водопад и Безымянка), Воронцовка (на р. Б. Хоста), «Советский сад» (на р. Кудепста), «Красный Путиловец» (на р. Мамайка), «Красный Октябрь» (на р. Лоо), в совхозе Бабук-Аул (на р. Монашке) и т. д. и малые ГЭС на жидком топливе в с. Лазаревское, в совхозе «Южные культуры» и во многих других населенных пунктах.

6. Для электроснабжения малых селений целесообразна установка микроГЭС. Использование этого типа ГЭС особенно важно в селениях, которые в дальнейшем предполагается перевести на электроснабжение от центральной или от местной системы. При подводке электроэнергии от районной подстанции, микроГЭС может быть снята и перенесена в другое место.

7. Некоторые изолированные селения, расположенные в лесистой зоне, вдали от побережья, как, например, колхозы им. Сталина, им. Ворошилова на р. Псеушко (бассейн р. Аше), колхоз им. Кирова (на склоне долины р. Шахе) и другие, не обладают водными источниками с постоянным дебитом, годными для устройства надежных в работе ГЭС.

Энергоснабжение таких селений, если их нельзя приключить к дальним энергетическим узлам, следует проводить на базе небольших газогенераторных установок, использующих отходы древесины.

Сочетание различных принципов электроснабжения и разных типов установок позволит полностью обеспечить энергией сельское хозяйство изучаемых районов и осуществить поставленную задачу развития надежной сельской энергетической базы южного склона.

Б. По вопросам электроснабжения сельского хозяйства Туапсинского и Геленджикского районов.

1. Туапсинский и Геленджикский районы обладают разнообразными энергетическими ресурсами, к числу которых относятся энергия горных рек, ветра, волн морского прибоя и лесотопливных ресурсов.

Относительная насыщенность территории энергетическими ресурсами неравномерна. Мощность рек и запасы древесины, отнесенные на 1 км² территории, уменьшаются, тогда как энергия ветра возрастает в направлении с юго-востока на северо-запад. Основным видом энергетических ресурсов для использования в сельском хозяйстве в большинстве случаев является энергия рек. Исключение представляет крайний северо-запад территории, где запасы водной энергии и топлива ничтожны и главным энергетическим ресурсом является ветер.

2. Реки Туапсинского и Геленджикского районов могут быть разделены на основные горные реки Главного Кавказского хребта, малые реки береговых хребтов и мельчайшие реки побережья. Использование энергии рек первого типа, промышленная русловая мощность которых составляет более 15 тыс. квт, способно дать ГЭС достаточной мощности, хотя и непостоянного режима в году. На реках второго типа возможны лишь самые малые установки. Реки третьего типа способны приводить в действие лишь мельчайшие гидросиловые установки. Неравномерность стока, общая для всех рек, требует их регулирования или же совместного использования ГЭС с установками других типов.

Регулирование стока является, вместе с тем, единственным способом обеспечить водой орошение полей и садов районов. На некоторых реках (Пшада, Вулан, Шапсухо), повидимому, возможно устройство регулирующих водохранилищ. Стоимость сооружения сельских ГЭС на реках исследуемых районов явится высокой; она, вероятно, составит от 6 до 25 тыс. руб. за 1 квт мощности (по аналогии с реками Лазаревского района).

3. Большую помощь в развитии энергетической базы сельского хозяйства в Геленджикском районе может оказать использование энергии ветра, в первую очередь путем устройства небольших ветромеханических и ветроэлектрических установок. Энергия ветромеханических установок в основном должна обеспечить перемещение водных масс с целью гидроаккумулирования (при использовании водной энергии) и для водоснабжения и ирригации (подъем воды из рек, откачка из аллювиальных пойм), а также для механизации некоторых сельскохозяйственных работ. Малые ветроэлектрические станции, обычно в сочетании с ГЭС с тепловыми электростанциями и с электрическим аккумулярованием, позволят электрифицировать небольшие селения, повысить эффективность использования водной энергии рек и сберечь топливо.

4. Использование энергии волн морского прибоя по схеме Е. С. Автономова могло бы иметь место лишь к югу от Туапсе, где его можно сочетать с берегоукреплением. Участок к северу от Туапсе пока не требует берегоукрепительных работ и здесь волновые ГЭС могли бы быть применены лишь при портовом строительстве.

5. Богатейшие лесные массивы, покрывающие свыше 80% территории Туапсинского и Геленджикского районов, в настоящее время не разрабатываются. При правильном ведении лесного хозяйства они могут дать миллионы кубических метров древесины и снабжать отходами мобильные газогенераторные двигатели, а в отдельных случаях малые паровые и газогенераторные электростанции временного типа.

6. Могут быть указаны следующие принципиальные пути электрообеспечения Туапсинского и Геленджикского районов.

Задачей первой очереди является широкое использование водных энергетических ресурсов наиболее крупных из местных рек, мощности которых было бы достаточно для покрытия всех нагрузок, если бы их удалось использовать зарегулированными установками. Важно также привлечение энергии ветра главным образом с целью гидроаккумулирования и для получения механической энергии. В юго-восточной и средней частях территории главными генерирующими источниками являются ГЭС, в северо-западной части ТЭС на привозном топливе и ветросиловые установки.

При последующем развитии электроэнергетики Краснодарского края, юго-восточный участок (ориентировочно, до долины р. Небуг) сможет получать энергию от высоковольтных сетей, объединяющих Сочинские, Пшиш-Туапсинские и Белореченские электростанции. Северо-западный участок (приблизительно до долины р. Мезыб) должен присоединиться к Новороссийскому электроэнергетическому узлу. В центральном участке территории (Мезыб — Небуг), не имеющем концентрированных потребителей, за исключением нескольких селений, необходимо базироваться на местные энергетические ресурсы главным образом за счет регулирования стока рек и всемерного повышения уровня их использования.

Если окажется невозможным зарегулировать энергию рек Центрального участка или стоимость их использования окажется слишком высо-

кой, что должно выявиться при дальнейших исследованиях с проведением проектно-изыскательских работ, в Центральный участок возможна подача электроэнергии из Краснодарского узла путем сквозной связи Туапсе — Новороссийск, или же по направлению Краснодар (или Северская, или Горячий Ключ) — Архипо-Осиповка.

При дальнейших исследованиях проблемы комплексной электрификации сельского хозяйства Туапсинского и Геленджикского районов должны быть изучены:

1. Распределение мощности по течению наиболее крупных рек этих районов (Туапсе, Нечепсухо, Шапсухо, Вулан, Пшава, Мезыб) и схемы комплексного использования их стока, с целью обеспечить водой потребности ирригации и водоснабжения, а энергией — селения, расположенные в их долинах.

2. Технические и энергэкономические условия сезонного регулирования основных рек районов.

3. Наиболее пригодные для размещения в Геленджикском районе типы небольших ветромеханических и ветроэлектрических установок. Следует рекомендовать массовое внедрение таких установок для механизации и электрификации сельского хозяйства Геленджикского района, в сочетании с тепловыми и гидроэлектрическими установками. Необходимо особо рассмотреть возможность устройства каскада небольших ГЭС на реках Мезыб — Азербиевка с применением повторной многократной перекачки воды, из нижних бьефов в верхние, ветро-насосными (механическими) установками, после ее сработки гидростанциями. Также следует изучить вопрос применения энергии ветра для откачки аллювиальных пойменных вод с целью орошения и водоснабжения.

4. Условия и технико-экономические показатели электроснабжения отдельных участков Туапсинского и Геленджикского районов от сетей Сочи — Белореченской секции и от электростанций Новороссийского и Краснодарского узлов Краснодарской электроэнергетической системы. На 1955 г. должен быть запланирован отпуск Краснодарской электроэнергетической системой для комплексной электрификации сельского хозяйства Геленджикского и Туапсинского районов до 7500 квт, в зависимости от степени развития мощности местных электростанций.

С учетом всех выявленных энергетических возможностей должна быть разработана оптимальная схема комплексной электрификации сельского хозяйства Туапсинского и Геленджикского районов, на базе освоения местных энергетических ресурсов и электроэнергии Центральной (Краснодарской) электроэнергетической системы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
С. В. Клопов. Гидроэнергетические ресурсы Северного и Западного Кавказа и условия их использования для развития народного хозяйства	7
<i>Часть I. Значение комплексного использования рек Северного и Западного Кавказа для народного хозяйства</i>	
Глава 1. Территория Северного и Западного Кавказа и ее основные особенности	9
Глава 2. Реки Северного и Западного Кавказа. Изученность и состояние использования энергии	12
Глава 3. Главнейшие гидроэнергетические проблемы в водохозяйственном комплексе Северного и Западного Кавказа	19
<i>Часть II. Гидроэнергетические ресурсы Северного и Западного Кавказа</i>	
Глава 1. Природные особенности ресурсов водной энергии Северного и Западного Кавказа и методика их учета	27
Глава 2. Потенциальные и промышленные запасы водной энергии основных рек Северного и Западного Кавказа	41
Глава 3. Регулирующие возможности расширений долин основных горных рек Северного и Западного Кавказа	50
Глава 4. Каровые озера Северного и Западного Кавказа и их регулирующие возможности	52
Глава 5. Гидроэнергетические ресурсы малых водных источников Северного и Западного Кавказа	64
<i>Часть III. Условия использования энергии рек Северного и Западного Кавказа</i>	
Глава 1. Пути развития гидроэнергетики в районах Северного и Западного Кавказа	80
Глава 2. Сочетание энергии рек различного гидрологического режима в условиях Северного и Западного Кавказа	85
Глава 3. Сезонные высокогорные гидроэлектрические регуляторы средней мощности при каровых озерах Северного и Западного Кавказа	91
Глава 4. Гидроэлектрические районные регуляторы (ГЭРР) в электроэнергетических системах Северного и Западного Кавказа	105
Глава 5. К вопросу о сооружении регулирующих плотин на горных реках методом завала	110
Глава 6. Энергия ветра как фактор развития электроэнергетических систем Северного и Западного Кавказа	114
Заключение и выводы	122
Литература	127
А. С. Клопова. Твердый сток некоторых рек Большого Кавказа	129
Литература	175
С. В. Клопов. Местные энергетические ресурсы Черноморского побережья Краснодарского края и перспективы электрификации сельского хозяйства	177
Глава 1. Гидроэнергетические ресурсы и перспективы электрификации сельского хозяйства Адлерского и Лазаревского районов	179
Глава 2. Энергетические ресурсы и перспективы электрификации сельского хозяйства Туапсинского и Геленджикского районов	196
Глава 3. Выводы и предложения по схеме электроснабжения сельских районов Черноморского побережья Краснодарского края	208

ИСПРАВЛЕНИЯ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
34	13—14 стр.	обеспеченности (‰),	обеспеченности,
34	10 стр.	обеспеченности (‰),	обеспеченности,

Зак. 99с

5462