

ВЕЛИКИЕ СТРОЙКИ КОММУНИЗМА

И. В. Егназаров

Гигантские гидростройки—великие  
стройки коммунизма<sup>1</sup>

24 млрд квтч, которые будут вырабатываться ежегодно на новых гидроэлектростанциях, и 28 млн. га земель, подлежащих орошению и обводнению,—это та огромная Сталинская программа преобразования природы, которая встречена всенародным ликованием в нашем Союзе братских республик.

Особенность этой программы—ее комплексность, охват всех сторон многообразного народного хозяйства.

Такой подход возможен только в наших советских условиях.

Этой программой будут вызваны к жизни территории более плодородные и почти в 8 раз большие, чем долина Нила. В 2,5 раза эти территории будут больше, чем обводненные площади США.

Сбор пшеницы с этих орошаемых площадей достигнет сбора пшеницы всей Канады и почти в два раза превысит сбор пшеницы в Аргентине.

Все возможности Нила используются только для орошения; не желая развивать промышленность Египта, Англия не допустила широкого использования Нила для получения гидроэнергии.

США и Канада до сих пор, уже около 20 лет, не могут договориться об использовании реки Св. Лаврентия и о постройке гидроэлектростанции Бахаруа; причина тому—создание водного пути по р. Св. Лаврентия будет способствовать проникновению канадской пшеницы в США.

Крупные центры Европы и Америки не знают что такое теплофикация городов; сложные капиталистические интересы мешают покрытию городов теплофикационными сетями.

Альпы—огромный источник гидроэнергии—разделены между 6-тью странами, р. Рейн—между 5-тью странами. Во всех случаях постановки крупных проблем на этих реках осуществление их тормозится противоречием капиталистических интересов.

Суэцкий канал, длиной 106 км с объемом земляных работ 175 млн. куб. м, строился 22 года. Панамский канал, длиной 81 км, строился 36 лет.

Таких и тому подобных примеров можно привести очень много.

Советские условия не знают этих противоречий.

Мы живем в великую Сталинскую эпоху перехода от социализма к коммунизму.

<sup>1</sup> По материалам докладов, прочитанных составителями в Ереване и Ленинграде с сентября 1950 по август 1951 года.

Трудящиеся нашей необъятной родины, под руководством коммунистической партии большевиков, успешно осуществляют историческую задачу перехода от социализма к коммунизму.

Это движение от социализма к коммунизму обеспечивается начатым, почти непосредственно после окончания Великой Отечественной войны, огромным строительством по созданию материальной и технической базы, связанной с невиданным доселе преобразованием природы, с вмешательством человека, советского человека, в дела природы.

В период социализма основной материальной базой, обеспечивающей развитие народного хозяйства в целом, была тяжелая индустрия и электрификация всей страны.

Эта база получила свое блестящее оформление в плане ГОЭЛРО и замечательное развитие в результате досрочного выполнения плана электрификации.

По плану ГОЭЛРО предполагалось в течение 10—15 лет ввести в действие 30 новых районных электростанций общей установленной мощностью 1500 тыс. квт и довести выработку электроэнергии до 8,8 млрд квтч в год.

План ГОЭЛРО благодаря усилиям советского народа был значительно перевыполнен. В 1935 году мощность электростанций СССР превысила план ГОЭЛРО в 2,5 раза.

Перед Великой Отечественной войной удельный вес электроэнергии в общем энергетическом балансе страны был в СССР выше, чем в США. 85% рабочих машин в промышленности СССР приводились в движение электричеством, тогда как в старой России в 1913 г. только 35% машин работало на электричестве. Электростанции Советского Союза уже в 1940 г. были оборудованы более совершенными агрегатами, нежели электростанции капиталистических стран. Эффективность советских электростанций определялась и тем, что в 1940 г. 72% всей выработки электростанций Министерства электростанций было получено на местном низкосортном топливе, в том числе 20% на торфе, а 13,1% электроэнергии было выработано гидроэлектростанциями.

К 1940 г. в стране образовались мощные энергетические объединения из нескольких энергосистем.

На Урале все электростанции связаны тысячекилометровыми линиями электропередач от северной до южной оконечности Урала. Единое высоковольтное кольцо образовали Донбасская, Приднепровская и Ростовская энергосистемы.

К началу послевоенной пятилетки более 120 городов Советского Союза получали тепло от теплоэлектроцентралей. По охвату теплофикацией Москва, Ленинград, Харьков, Киев и другие наши города стоят неизмеримо выше зарубежных.

В ходе войны гитлеровские варвары нанесли тяжелый ущерб советской электроэнергетике. Они взорвали, сожгли и частично

разрушили 61 крупнейшую электростанцию и большое количество мелких, общей мощностью в 5 млн. квт, вывели из строя около 10 тыс. км магистральных высоковольтных линий передач, уничтожили более 12 тысяч зданий электростанций и подстанций.

Советский народ и в период войны не прекращал крупного строительства новых электростанций. Такое строительство шло на Урале, в Сибири и в других районах. За годы войны мощность электростанций Урала выросла более чем в 2 раза, Кузбасса—в 1,7 раза, Караганды—в 4,1 раза, Узбекистана—в 1,9 раза и т. д. В послевоенный период электростроительство в СССР развивается особенно высокими темпами.

\* \* \*

Новым этапом развития электростанций нашего Союза является их широкая автоматизация.

На электростанциях Министерства электростанций уже полностью автоматизировано 50% мощности всех котлов: на этих котлах управление всеми механизмами, подача топлива, регулирование нагрузки производятся автоматами.

Автоматизировано также большое число гидроэлектростанций. Так, в Узбекской энергосистеме на ряде гидроэлектростанций совсем нет дежурного персонала: эти станции управляются с диспетчерских пунктов, находящихся на расстоянии десятков километров от них. Автоматизация вдвое уменьшила потребность в персонале на узбекских гидроэлектростанциях и снизила себестоимость выработки электроэнергии на 14%. Полностью автоматизированы и управляются с главного диспетчерского пункта некоторые крупнейшие гидроэлектростанции Московской энергосистемы.

Такова характеристика периода, предшествовавшего эпохе великих строек.

\* \* \*

Основные вехи плана создания материально-технической базы коммунизма были выдвинуты товарищем Сталиным на предвыборном собрании избирателей Сталинского округа г. Москвы в феврале 1946 года.

Товарищ Сталин говорил: „Что касается планов на более длительный период, то партия намерена организовать новый мощный подъем народного хозяйства, который дал бы нам возможность поднять уровень нашей промышленности, например, втрое по сравнению с довоенным уровнем. Нам нужно добиться того, чтоб наша промышленность могла производить ежегодно до 50 миллионов тонн чугуна, до 60 миллионов тонн стали, до 500 миллионов тонн угля, до 60 миллионов тонн нефти. Только при этом условии можно считать, что ваша Родина будет гарантирована от всяких случайностей. На это уйдет, пожалуй,

три новых пятилетки, если не больше. Но это дело можно сделать, и мы должны его сделать”.

Постановление Совета Министров о строительстве Волго-Донского канала, о строительстве Куйбышевской и Сталинградской гидростанций на р. Волге, об орошении и обводнении Прикаспия, о строительстве Главного Туркменского канала и орошении и обводнении пустынь Средней Азии, о строительстве Каховской гидростанции на р. Днепр и орошении земель Южной Украины и Крыма—является осуществлением великих задач, выдвинутых товарищем Сталиным в 1946 г.

Непосредственно после победоносно оконченной благодаря гению Сталина Великой Отечественной войны, наш Союз перешел к осуществлению сооружения таких гигантов, как Молотовская ГЭС на р. Каме, системы Мингечаура в Азербайджане с ирригационным водохранилищем в 16 млрд. куб. м, к форсированному осуществлению комплексной Севанской проблемы в Армении.

Еще до войны были созданы такие мощные системы, как Беломорский канал и канал Москва-Волга, Московское море, Щербаковская гидростанция и Рыбинское море с 25 млрд. куб. м полной емкости и 14 млрд. полезной емкости.

Но даже все эти огромные достижения советских народов далеко уступают новым задачам, поставленным перед нами.

Куйбышевская и Сталинградская гидростанции больше, чем наиболее мощные гидростанции США—Боулдердам и Гран-Кули. Мощность каждой из американских энергосистем уступает системе Куйбышев—Сталинград.

Выработка этих двух станций больше, чем выработка всех станций Италии, Швейцарии, Швеции. Эта выработка эквивалентна расходу 20 тысяч ж.-д. составов топлива ежегодно при сжигании этого топлива на тепловых станциях.

Куйбышевская плотина создаст водохранилище емкостью 53 млрд. куб. м при длине в 500 км. Это почти половина Онежского озера; это почти озеро Севан по объему.

Гор. Казань, стоящий от Волги в 5 км, окажется на берегу.

Сталинградская плотина создаст примерно такое же водохранилище.

Если Куйбышевский гидроузел решает в основном энергетическую задачу и частично ирригационную, охватывает орошением 1 млн. га, то Сталинградский узел решает огромную задачу обводнения и орошения 13 млн. га, и вместе с Волго-Дном и Главным Туркменским каналом—Аму-Дарья—Красноводск и Южно-Украинским и Северо-Крымским каналами—предназначен для изменения климата всей Прикаспийской низменности и юга Европейской части СССР.

Если вспомнить, что уже орошаемые площади, подлежащие новой системе орошения, согласно недавно принятому нашим Союзным Правительством решению, составляют около 4,5 млн. га, тогда как новые площади орошения и обводнения составляют 28 млн. га, то станет ясным тот огромный переворот в природных условиях, который должен быть создан на огромной территории, примыкающей к Каспийскому и Черному морям.



Почему принято постановление о строительстве величайших сооружений именно в этих районах нашего огромного Союза Советских Социалистических республик?

Основные источники гидроэнергии, которые могли бы питать центральные промышленные районы Европейской части Союза, уже использованы и недостаточно велики для покрытия потребностей народного хозяйства на его новом этапе послевоенного развития. Неизбежно использование нижней Волги с ее огромными расходами воды.

Районы нижней Волги, Поволжья, Прикаспия, Донской области, Южной Украины с Крымом и пустынь Туркмении, при условии орошения и обводнения, явятся важнейшей базой сырья и устойчивых сельскохозяйственных культур, при исключительной производительности, при возможности исключительного развития животноводства.

Совершенно ясно, что сельскохозяйственная база коммунистического общества должна быть способной во много раз повысить урожай всех культур, мясную и молочную производительность, а это возможно на богатых лесовых почвах Прикаспия и Средней Азии и на черноземах Южной Украины, при условии орошения и обводнения.

Орошение и обводнение этих районов может дать нашей стране дополнительно несколько миллиардов пудов хлеба, миллионы тонн хлопка, сотни тысяч тонн мяса и молочных продуктов.

Исключительны возможности пустынь Средней Азии. По плодородию переносимого ила река Аму-Дарья превосходит Нил. В районах Хорезма урожайность в орошаемых оазисах в 2—2,5 раза больше, чем в долине Нила. Поэтому здесь, при двух устойчивых урожаях в год, 4—5 укосов трав за лето, возможности разведения особенно ценных пород овец, при богатстве нефтью, углем и марганцем, перспектива бурного развития и роста почти не ограничена.

Здесь каждый гектар даст возможность держать в 5 раз больше скота, чем в черноземной полосе Европейской части Союза, или в 30 раз больше, чем в настоящее время в Средней Азии.

В ряде районов, и прежде всего в районах великих строек коммунизма, уже в ближайшие годы будет развиваться электрическая пахота: 100 электротракторов советской конструкции прошли испытание в ряде МТС и показали преимущества этой новейшей техники.

Электрификация пахоты повышает производительность труда в полеводстве на 30—40%, в несколько раз уменьшает потребность в подсобной тягловой силе, экономит огромное количество высокоценного горючего.

Как известно, в 1949 году были созданы первые в стране три электро-машинотракторных отделения МТС с 10 опытными электротракторными агрегатами в каждом. В 1949 и в 1950 годах эти опытные агрегаты на полях 36 колхозов выполняли разнообразные полевые работы (вспашка и боронование разных паров, подъем целины, вспашка под озимь и зябь, раскорчевка пней и др.) на общей площади свыше 40 тыс. га.

По своему значению на первое место должна быть поставлена электрификация земледелия и сельскохозяйственных районов в целом.

За годы сталинских пятилеток произошли коренные изменения в энергетической базе сельского хозяйства. Еще в начале первой пятилетки 96% энергетического баланса сельского хозяйства приходилось на мускульную силу животных. В предвоенные годы удельный вес механических установок в энергетическом балансе сельского хозяйства достиг уже примерно 65%. Энергетической основой сельского хозяйства стал двигатель внутреннего сгорания. За послевоенное пятилетие в этом направлении сделан новый крупный шаг: сельское хозяйство за 1946—1950 годы получило от промышленности 536 тыс. тракторов и 93 тыс. комбайнов.

Электрификация сельского хозяйства в предвоенные годы проходила по существу еще подготовительный этап накопления промышленного опыта электрификации производственных процессов. Послевоенный пятилетний план определил новый скачок в развитии электрификации сельского хозяйства. Мощность сельских электростанций к концу 1950 года увеличилась в 2,8 раза против 1940 года.

Обобщение опыта более 10 тысяч электромолотильных пунктов показывает, что электрификация молотбы по сравнению с тракторным обмолотом снижает в 2 раза расход рабочей силы, в два раза уменьшаются потери зерна, сокращается потребность в тягловой силе, отпадает потребность в жидком топливе (6 кг на 1 т зерна), в полтора раза сокращается срок обмолота. Комплексная электрификация обмолота урожая с 1 млн. га обеспечивает экономию в наиболее напряженный период сельскохозяйственных работ около 2,5 млн. человекодней (по сравнению с тракторным обмолотом). Следует отметить, что уже сейчас имеется большое число видов электрических машин и аппаратов, которые могут получить применение в сельском хозяйстве.

Таким образом, электропотребление сельского хозяйства, находящегося в сфере действия Куйбышевской и Сталинградской гидроэлектростанций, будет примерно в 15 раз больше, чем довоенное электропотребление всего сельского хозяйства СССР. Сельское хозяй-

ство в электробалансе указанных систем по удельному весу займет второе место после промышленности (20—30% в электробалансе систем Поволжья и центрально-черноземных областей).

Внедрение электротрактора в сельское хозяйство позволит заменить дальнепривозное жидкое горючее гидроэнергией или местным топливом, высвободит около  $\frac{1}{3}$  рабочей силы в тракторных бригадах, сократит в 7 раз подсобную тяговую силу, значительно снизит расходы на запасные части и на ремонт тракторов. Электротрактор в значительно большей мере, чем тепловой трактор, сможет удовлетворить требованиям агротехники в направлении повышения урожайности.

\* \* \*

Таков краткий перечень исключительно важных для народного хозяйства вопросов, охваченных постановлениями совета Министров. В Европейской части Союза мы не имеем более крупных проблем.

Только в Азиатской части Союза огромные сибирские реки открывают возможности, сравнимые с принятыми к осуществлению великими стройками.

Нужно полагать, что принятое к осуществлению орошение и обводнение Туркменской пустыни и Кара-Кумов, с огромным судоходным каналом от Аму-Дарьи до Каспийского моря, составит часть еще более грандиозной проблемы обводнения системы Обь—Аральское море—Каспийское море.

Эта проблема еще разрабатывается. Плотина на Оби, ниже слияния с Иртышом, высотой ок. 80 м, должна создать водохранилище объемом 4500 млрд. куб. м (зеркало 250 000 кв. км) с гидростанцией мощностью 5,6 млн. квт. и 34 млрд. квт. часов.

Подпор от плотины на Оби дойдет до Новосибирска, по Иртышу—до Омска, и по Тоболу—до Кургана.

Для преодоления водораздела у Тургайских ворот должен быть создан канал длиной ок. 1000 км до Аральского моря, с выемкой, доходящей до 75 м глубины.

Эта проблема будущего связана с большим вопросом о падении уровня Каспийского моря.

За последние десятилетия уровень Каспийского моря непрерывно снижается. Устройство двух больших водохранилищ на р. Волге, с огромным зеркалом воды, и следовательно, с большой потерей воды на испарение, еще уменьшит поступление воды в Каспийское море.

Заметно скажется и отвод воды на орошение и обводнение, так как только небольшая часть этой воды поступает в Каспий.

По грубым подсчетам Каспию будет недоставать ок. 75 млрд. куб. м воды в год.

Раньше предполагалось часть этого недостатка покрыть так

называемым Северным питанием, т. е. переброской воды из Вычегды и Сухони в Волгу за счет Северной Двины. Но это частичное решение задачи не может полностью восстановить предстоящую убыль воды.

Из изложенного видно как многообразен вопрос в целом, и каких огромных исследований он потребует помимо тех больших работ, которые уже были произведены по проблемам Б. Волги и Ю. Днепра, по проблеме Оби.

\* \* \*

Объем работ по осуществлению Куйбышевского строительства очень велик: земляные работы определяются в 150 млн. куб. м. Если погрузить это количество грунта на поезда, то лента поездов четыре раза обвевает земной шар по экватору; бетонные и ж. б. работы — 6 млн. куб. м.

Объем работ Сталинградского узла во много раз больше, как больше и объем работ Туркменской проблемы, исчисляемый по земляным работам в 300 млн. куб. м в чрезвычайно трудных климатических условиях.

Какие строительные машины нужны для осуществления этих работ?

О масштабах строительных работ в СССР говорит такая цифра: только на строительстве гидроэлектростанций без великих строек в ближайшие годы необходимо выполнять ежегодно свыше 300 млн. куб. м земляных и до 5 млн. куб. м бетонных работ.

В гидротехническом строительстве в 1950 г. было механизировано около 80% земляных работ, 93% приготовления бетона, 83% укладки бетона, 90% монтажа металлоконструкций, 40% погрузочно-разгрузочных работ.

Энерговооруженность строительства великих строек составит до 3 квт на рабочего, т. е. в десятки раз больше прошлого.

Наши заводы уже изготавливают тракторные прицепы, мощные бульдозеры, ирригационные экскаваторы и ряд других машин.

На Куйбышевской ГЭС будет работать 14 м<sup>2</sup> шагающий экскаватор с общей мощностью моторов 1200 квт, при стреле выноса ок. 100 м; создаются и более мощные машины. Дополнением к нему является грузовая автомашин-самосвал грузоподъемностью 25 т.

Но для выполнения таких работ нужно создать еще более мощные механизмы, а следовательно, нужно создать ряд новых заводов.

Только на Куйбышевской ГЭС ежедневно будет укладываться до 1000 куб. м бетона. За один час будет перерабатываться два ж.-д. состава материалов для бетона.

Это возможно только при полной механизации погрузочно-разгрузочных работ и процессов изготовления бетона.

Плотина будет создана землесосами; один такой землесос заменит на укладке плотины труд 5000 рабочих.

Исключительно большое применение должна получить гидромеханизация, т. е. разработка и подача грунта гидравлическим путем. Здесь могут быть использованы работы нашей Гидроэлектрической лаборатории по транспорту влекомых потоком наносов.

Напорный фронт Куйбышевского узла составит ок. 5 км на трудных в геологическом отношении очень мелкозернистых грунтах, и будет состоять из гидростанции, огромной по протяжению земляной намывной плотины и бетонной водосливной плотины с 48 пролетами.

Путь для решения таких научных и инженерных задач указал нам покойный академик Графтио, построивший нового типа распластывающую плотину Нижне-Свирской станции.

Напомню, что иностранная экспертиза предлагала отказаться от постройки этой плотины, ссылаясь на неблагоприятные геологические условия. Но правильный, советский путь решения этой задачи был найден и осуществлен и поэтому с уверенностью, в трудных геологических условиях, строится в настоящее время Молотовская гидростанция на р. Каме, и будут строиться новые гиганты на р. Волге.



При колоссальной мощности гидростанций вопрос о числе и мощности гидроагрегатов чрезвычайно важен.

Желательно было бы достичь огромной мощности в 200—250 тыс. *квт* в агрегате, а это привело бы к созданию турбин, невероятных по размерам гидравлических колес.

Наше водяное турбостроение еще молодо, однако достижения его очень велики. Если волховские турбины были построены шведским заводом, то в постройке ниже-свирских турбин с поворотной лопастью рабочим колесом участвовал Ленинградский металлический завод (ЛМЗ). Диаметр свирских турбин был около 6 м.

Такого же типа турбины для Угличской и Шербаковской станций на р. Волге построены целиком Ленинградским металлическим заводом. Размеры этих турбин являются рекордными: диаметр колес—9 м. Достаточно указать, что осевое давление воды на подпятник такой турбины составляет 2 тысячи тонн. Диаметр колеса гидрогенератора доходит до 15 м. Вместе с осевым давлением подпятник должен выдержать полный вес вращающейся части всего агрегата, т. е. ок. 3,5 тысяч тонн. Такие же турбины, мощностью 100—120 тыс. *квт*, приняты для Куйбышевской гидростанции.

Опыт ЛМЗ должен быть полностью использован, но необходима постройка в Заволжье еще заводов для того, чтобы осуществить в срок оборудование новых гигантских строек, а также одновремен-

но выполнить задания по большому числу других новых гидростанций.

\* \* \*

Если задачи гидротехнические и гидромеханические грандиозны, то задача электротехническая, связанная с передачей 6,1 млрд. *квт* в Москву на расстояние 800 км из Куйбышева и 4 млрд. в Москву же, на расстояние 1200 км из Сталинграда, — не только грандиозна, но и является проблемой, еще нерешенной до настоящего времени.

Строительство Куйбышевской и Сталинградской гидроэлектростанций знаменует собой широкий переход от отдельно работающих районных электроэнергетических систем к межрайонному их объединению и к созданию единой высоковольтной сети на обширной территории Европейской части СССР.

Дальнейшее развитие высоковольтных электропередач объединит эту межрайонную систему с другими районными системами. Куйбышевская и Сталинградская гидроэлектростанции явятся опорными узлами единой высоковольтной сети Европейской части Советского Союза.

Каким током передавать эту энергию? Постоянным или переменным? При каком напряжении? Достаточно ли будет 400000 вольт?

В СССР освоено наивысшее напряжение электропередачи в 220 кв. Наивысшее напряжение электропередачи в США 287 кв, Швеция заканчивает постройку передачи на напряжение 380 кв по расщепленным проводам. Передача из Куйбышева в Москву должна быть осуществлена на напряжение в 400 кв.

Как быть с устойчивостью в такой энергосистеме, которая должна охватить Москву — Иваново-Вознесенск — Горький — Куйбышев — Сталинград — Астрахань — Калугу — Москву?

Часть таких вопросов будет решаться на динамических моделях энергосистем.

В Армении положено начало такой лаборатории при Водноэнергетическом институте, но мы пока еще делаем первые, скромные шаги. В Союзе существуют еще только две лаборатории такого типа (раньше таких лабораторий не было). Это — лаборатории МЭИ и лаборатория Политехнического института. Все три лаборатории еще только начинают свое развитие. Несмотря на это, лаборатория МЭИ уже работает по вопросам, связанным с передачей Куйбышев — Москва.

Чтобы стала понятна экономическая значимость электропередачи Куйбышев — Москва, можно сообщить, что по исчислениям, произведенным несколько лет назад, стоимость Куйбышевской энергии определялась на самой станции в три раза более дешевой, чем в Москве, с учетом влияния линии.

Таким образом, электропередача дает на *квт* час в два раза более расходов, чем все грандиозные гидротехнические сооружения.

Новые научные работы в этом направлении уже привели к снижению стоимости передачи.

Подлежащие передаче мощности и расстояние Куйбышев—Москва лежат в той области, где сегодня переменный ток еще может конкурировать с постоянным.

Еще недавно положение было иное: за пределами 500 км длины электропередачи стоял вопрос о переходе на постоянный ток, применение которого неоспоримо при очень больших расстояниях.

Применение расщепленных проводов, т. е. нескольких проводов в одной фазе, подвешенных к одному изолятору, решает задачу как борьбы с короной, так и с чрезмерной самоиндукцией линии для передачи переменным током.

Подсчеты 1950 года показывают, что можно ограничиться напряжением 400000 вольт, но необходима серьезная емкостная компенсация, т. е. последовательное с линией соединение конденсаторов огромной мощности на полное напряжение.

Нужно решить вопросы изоляции для таких конденсаторов, чтобы их удешевить.

Вся изоляция такой передачи должна быть рассчитана на ударное напряжение до 1800000 вольт.

Хотя стоят большие и сложные вопросы, но уже видно, что непреодолимых препятствий для переменного тока нет, по крайней мере для передачи Куйбышев—Москва.

Возможно, что для передачи Сталинград—Москва будет принят постоянный ток, целый ряд проблем которого еще не может считаться практически разрешенным. Главным препятствием является обратное преобразование постоянного тока в переменный для снабжения энергией потребителя.

Может также встать вопрос о передаче электрической энергии из Сталинграда в Баку, в особенности, если по пути можно будет дать точку питания в Дагестане, построив гидростанцию на р. Сулак и его притоках.

Можно было бы еще многое сказать, так огромен, чтобы не сказать необъятен, вопрос, поставленный перед наукой и техникой.



Остановимся на научной базе, определяющей технический успех великих строек коммунизма.

Как известно, организационные формы решения производственных и научных задач в нашей стране соответствуют отдельным этапам развития всего народного хозяйства. Если в первый период строительства социализма, когда ставилась задача создания отдельных отраслей народного хозяйства—металлургической, топливной, машиностроительной, в выполнении отдельных крупных научно-технических проблем участвовало несколько научных учреждений, несколько крупнейших лабораторий, то теперь, в эпоху постепенного пере-

хода от социализма к коммунизму, организационная форма носит более развитый характер. В разработке научных проблем, связанных с великими стройками, принимают участие научные учреждения и ученые всех специальностей. Организация и руководство деятельностью всех научных учреждений, сконцентрированных вокруг этой единой научной темы для всей страны, ведется Академией наук СССР, которая, создав Координационный комитет по великим стройкам, направляет деятельность всех научных учреждений Академий наук Союзных республик. Эта новая, свойственная эпохе перехода от социализма к коммунизму, организационная форма выполнения научных проблем обеспечивает участие всех научных и технических работников страны.

Высокий технический, теоретический уровень работ, посвященных великим стройкам, не только обеспечивает выполнение задач, но и создает базу для дальнейшего развития науки и техники в нашей стране. Комплексное решение труднейших проблем энергетики, гидротехники, электротехники, строительного дела, машиностроения, автоматизации и механизации, агротехники, химии и физики поднимает уровень всей нашей науки и техники, и даст возможность ставить в будущем еще более грандиозные по масштабу задачи преобразования природы.

\* \* \*

Комитеты содействия образованы не только Союзной Академией наук, но и целым рядом республиканских Академий, в том числе и Академией наук Армянской ССР под председательством президента.

Академии организовали целый ряд комплексных экспедиций для детального изучения районов, охваченных великими стройками и связанным с ними сталинским преобразованием природы.

Институт геологических наук Академии наук Армянской ССР организовал экспедицию по изучению оползней реки Волги на тех ее участках, которые образуют будущие водохранилища. Это очень ответственная задача, так как могут сползть очень большие массивы ценных земель, в том числе и таких, как земли у гор. Казани, гор. Ульяновка и др.

Химический институт Академии готовится к работам по электроплавке местных грунтов в щелях, созданию нового типа водопорных облицовок для каналов.

Институт стройматериалов и сооружений изучает местные заполнители для бетонных работ великих строек. Сейсмометры конструкции Института будут использованы на трассе Главного Туркменского канала.

Сектор экономики разрабатывает вопросы, связанные с перспективой развития производительных сил великих строек, вопросы формирования новых индустриальных комплексов, развития цветной

металлургии и путей использования сырьевых источников Закавказья для предприятий в районах Поволжья.

Особенно большую научную работу для великих строек, в частности для Куйбышевского гидроузла, ведет в 1951 году Водно-энергетический институт Академии наук Армянской ССР.

При шлюзовании, для перехода судов из огромного водохранилища-моря, образованного Куйбышевской плотиной, в русло реки Волги, которое ниже плотины на 28 м, вода, наполняющая шлюз, должна быть выпущена из него в длинный нижний шлюзной канал. Такой выпуск воды производится быстро, чтобы не задерживать судоходство.

Быстрый выпуск воды создает волну в канале. Она распространяется по каналу до нижнего его конца и здесь отражается. Распространяясь, волна создает колебания уровня и течения в канале. Это волнение и скорости течения могут затруднять судоходство, как идущее вверх, так и вниз по реке Волге. Поэтому размеры шлюзного канала должны быть подобраны так, чтобы не получить больших скоростей течения и высоких волн.

С целью исследования этого явления и определения размеров канала и других сооружений шлюзного пути Водно-энергетическим институтом построена огромная действующая модель Куйбышевского гидроузла.

За три месяца 1951 года создана гидравлическая лаборатория с большой бетонированной площадкой (фиг. 1) под открытым небом. На этой площадке построена модель Куйбышевского гидроузла, на которой уже начаты научные исследования.

Вода для исследования подана на эту модель трубопроводом длиной 800 м из Норкского канала, на котором устроено водопроводное сооружение.

Большой наш тридцатилетний опыт по исследованиям неустановившегося волнового движения водного потока, как экспериментальный, так и теоретический, послужил причиной передачи этого исследования на крайний юг СССР, в небольшую Армянскую ССР.

До Великой Октябрьской революции в царской России было только 4 небольших гидравлических лаборатории при высших учебных заведениях. Уже в 1935 году нам довелось докладывать на международном конгрессе в Брюсселе об оборудовании и работах 32 советских гидролабораторий.

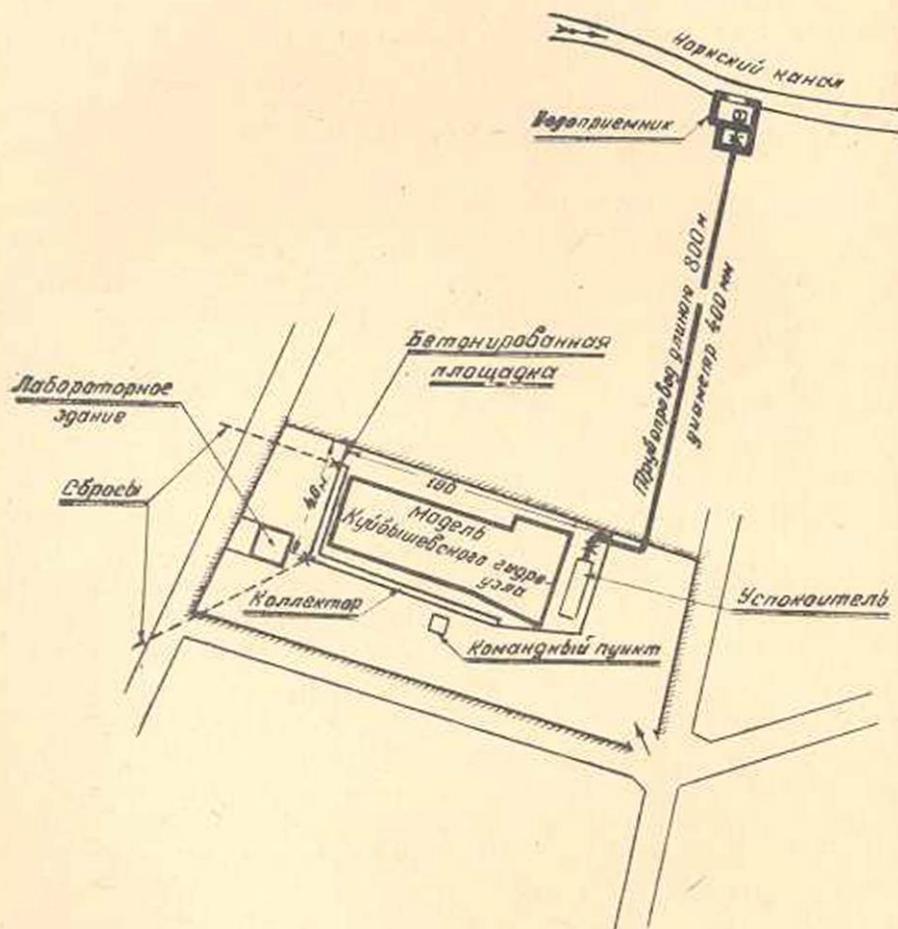
Теперь число таких лабораторий в СССР превышает сотню.

Крупные и наиболее плодотворно работавшие лаборатории вызывались к жизни большими стройками нашей Советской родины.

Так, запросы первенца СССР—Волховстроя—и первенца электрификации Армянской ССР—Дзорагэс—привели к устройству в

1924 году и быстрому развитию гидроэлектрической лаборатории в Ленинграде, которая до 1943 года работала под нашим руководством.

Большое гидростроительство Армении, осуществление проблемы использования замечательного высокогорного озера-моря Севан, привели к организации гидроэлектрической лаборатории при Водно-энергетическом институте в Ереване.



Фиг. 1. Схема расположения новой открытой гидролаборатории Водно-энергетического института Академии наук Армянской ССР в Норке.

Это большая, союзного масштаба лаборатория, благодаря помощи партии и правительства Армянской ССР, была организована в 1944—47 гг. на базе оборудования Ленинградской лаборатории.

Молодая Ереванская лаборатория уже обеспечила и заканчивает все большие научные исследования для сооружения самой крупной гидростанции Севанского каскада—ГюмушГЭС, провела исследования головного сооружения одной из оросительных систем Армении и большие исследования, связанные с защитой гор. Еревана от наводнений.

Аналогичные пути прошла лабораторная база Гидропроекта, которому постановлением правительства поручены проекты и исследования по всем великим стройкам.

Строительство Беломорского канала, канала Москва—Волга, а теперь строительство Куйбышевской ГЭС привели к созданию под Москвой, в Тушино, целого лабораторного городка Гидропроекта, который продолжает достраиваться. Все исследования по пропуску высоких вод р. Волги через сооружения Куйбышевского гидроузла проведены в этой лаборатории под руководством строителей Беломорского канала и канала Москва—Волга С. Я. Жука, Б. Ф. Караулова и ряда их сотрудников с большим экспериментальным опытом.

По уже отмеченной выше причине, а также вследствие возможности построить достаточно большую по размерам модель, все волновые исследования Куйбышевского гидроузла переданы новой Ереванской гидролаборатории, организованной в Норке.

Таким образом, строительство Куйбышевского гидроузла способствует новому развитию Ереванской гидролаборатории.

На бетонированной площадке этой открытой лаборатории готова модель Куйбышевского гидроузла и пущена для исследования вода (фиг. 2 и 3), ведутся опыты с измерениями как волны, так и течения, специальными приборами, которые автоматически записывают измеряемые величины, и что очень важно, изменения этих величин во времени.

Для таких исследований нужна специальная аппаратура и большой опыт работы с самозаписывающими приборами: механическими, механико-оптическими, механико-электрическими и электрическими.

Такие приборы не изготавливаются ни нашей промышленностью, ни за границей; они изобретаются, конструируются и изготавливаются лабораторией в своих мастерских, и являются уникальными (фиг. 4—7).

Возможные перемещения судов под влиянием колебаний уровня и переменных скоростей течения, как продольные, так и поперечные, должны быть исследованы. Для этого на модели специальным механизмом протаскивается с заданной скоростью караван судов из буксира и барж и записываются фотографически продольные и поперечные колебания этих судов.

Разработанная нами теория приближенного расчета волновых явлений позволила до приступа к экспериментам, произвести теоретические расчеты и наметить размеры сооружений Куйбышевского гидроузла, которые на модели подвергаются окончательной проверке.

Эти теоретические расчеты показали, что при заданных проектных первоначальных размерах нижнего шлюзного канала нет возможности обеспечить необходимые судоходные условия без устройства дорогих сберегательных бассейнов. Обсуждение этих результатов теоретического исследования уже привели к изменению размеров нижнего шлюзного канала.

Как во время постройки самой открытой лаборатории, так и при постройке модели и проведении опытов пришлось преодолевать большие трудности—организационные и научные. Энтузиазм молодых сил, привлеченных к этой работе Армгостроем, производившим строительные работы, так и воодушевление, охватившее молодой научный состав Водно-энергетического института, в очень короткие сроки обеспечили изготовление огромной модели, позволили разработать и освоить новые методы измерений и аппаратуру, преодолеть стоявшие перед институтом трудности.

В порядке содружества с Водно-энергетическим институтом работают по оснащению модели приборами Лаборатория динамики машин Академии наук СССР и Осциллографическая лаборатория Ленинградского электротехнического института им. Ленина.

В специальных статьях, в дальнейшем, будет более подробно освещена как теоретическая, так и экспериментальная работа новой лаборатории для Куйбышевского гидроузла.

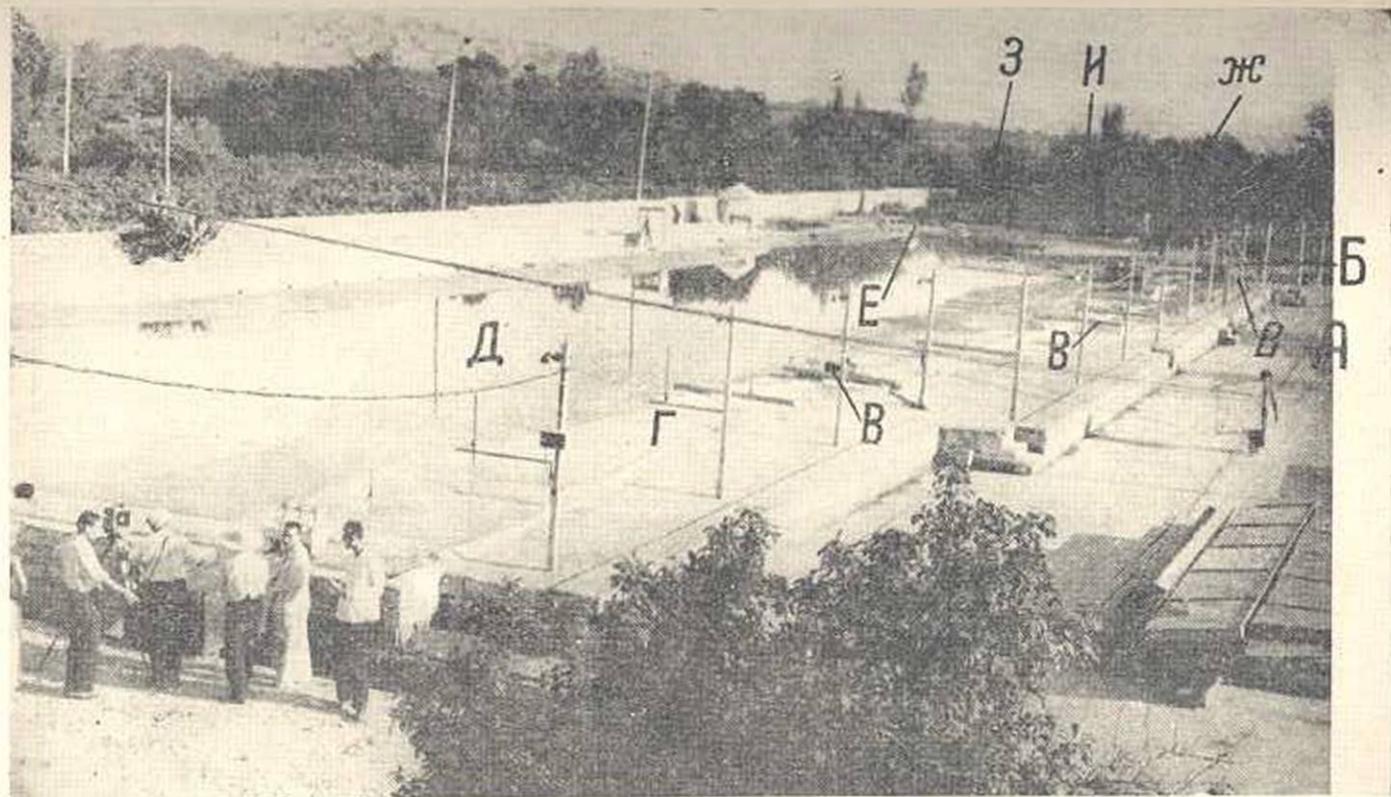


К нашей великой Родине обращены взоры и мысли всего прогрессивного человечества. Миллионы передовой прогрессивной интеллигенции во всех уголках земного шара, всех рас и национальностей, с горячей любовью говорят о великих стройках коммунизма. Они видят в этих стройках проявление могущества, великой силы созидательного труда, миролюбивой политики Советского государства. Прогрессивное человечество понимает и подчеркивает, что такие грандиозные планы могли развиваться только в условиях победившего социализма.

Сравнивая положение в Советском Союзе и в странах капитала, сравнивая два мира, две системы, два пути развития, из которых в одном мире, в мире капитализма, возглавляемом США, Англией, происходит загнивание экономики, гонка вооружений, обнищание трудящихся при массовой безработице, а в другой системе, возглавляемой Советским Союзом, происходит мирная созидательная работа, направленная на улучшение благосостояния народов—трудящиеся и прогрессивная интеллигенция всего мира делают соответствующие выводы.

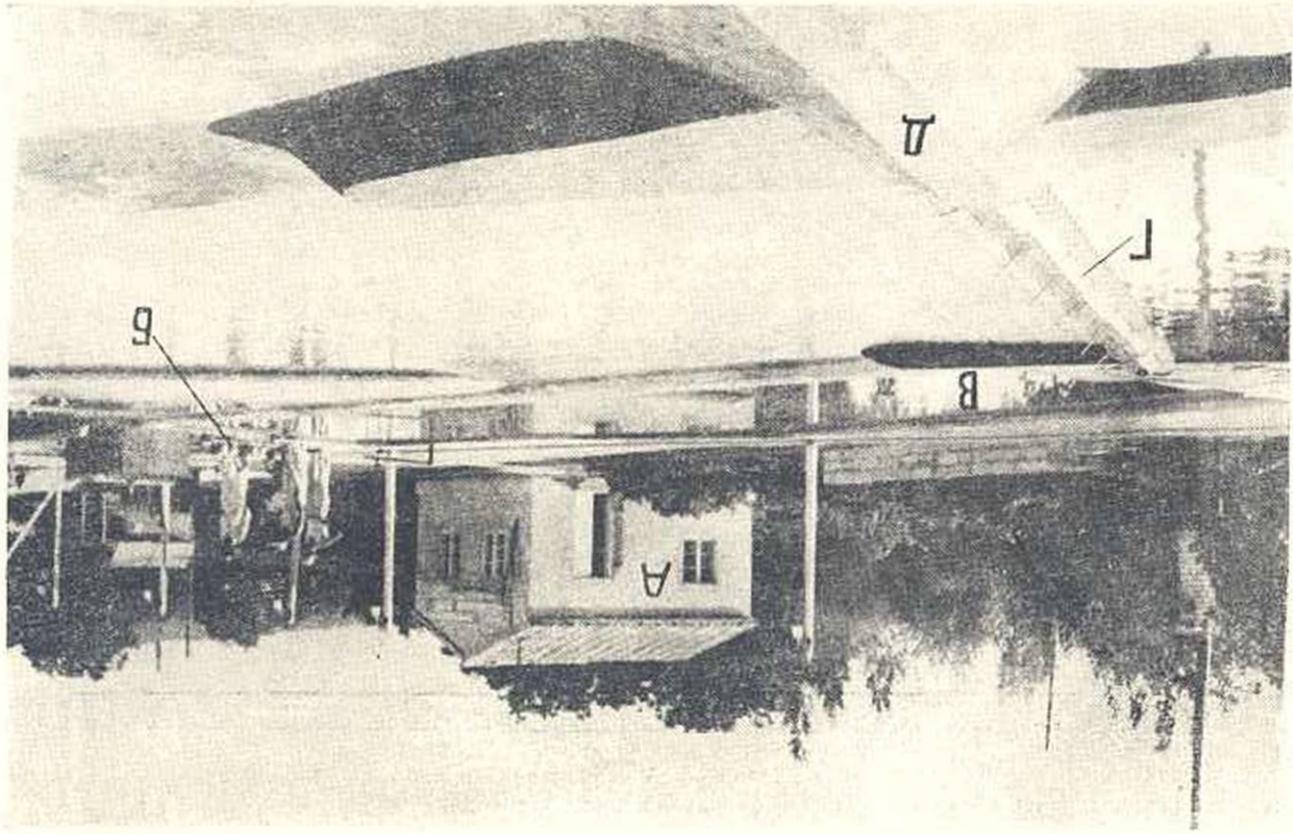
Правда о Советском Союзе, о его всемирно исторических победах, о героическом мирном труде, о величественных стройках коммунизма проникает во все уголки мира.

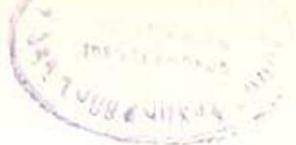
Взоры всего человечества обращены к великому преобразователю природы—Сталину, который с гениальной прозорливостью выдвигает одну за другой важнейшие проблемы развития материальной базы коммунизма в нашей стране и ведет нас от победы к победе.



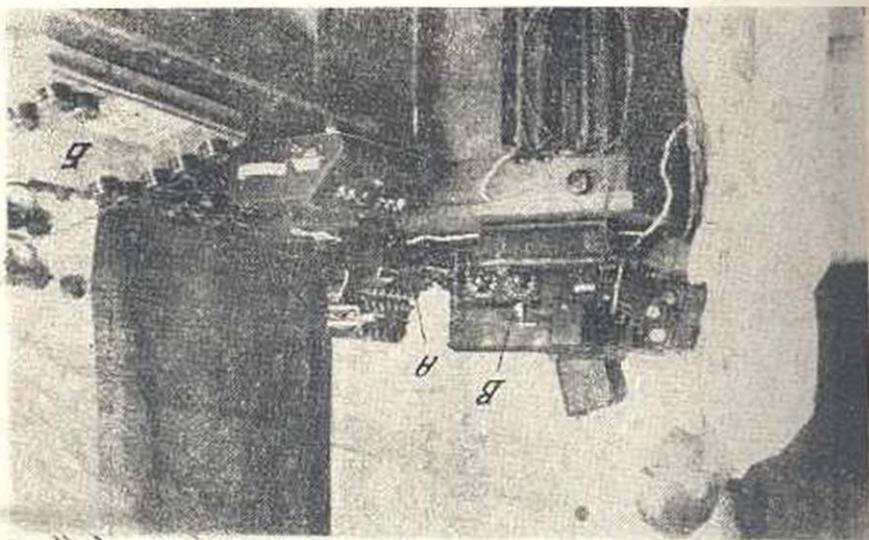
Фиг. 2. Общий вид модели Кузбшевского гидроузла. А—командный пункт с пультом телесуравления автоматическими щитами шлюзов Б и самозанисывающих приборов В; Г—шлюзовой канал; Д—русло р. Волги; Е—модель здания станции; Ж—модель плотины; З—губопровод, подающий в лабораторию воду из оросительного канала, И—приемный резервуар-успокоитель.

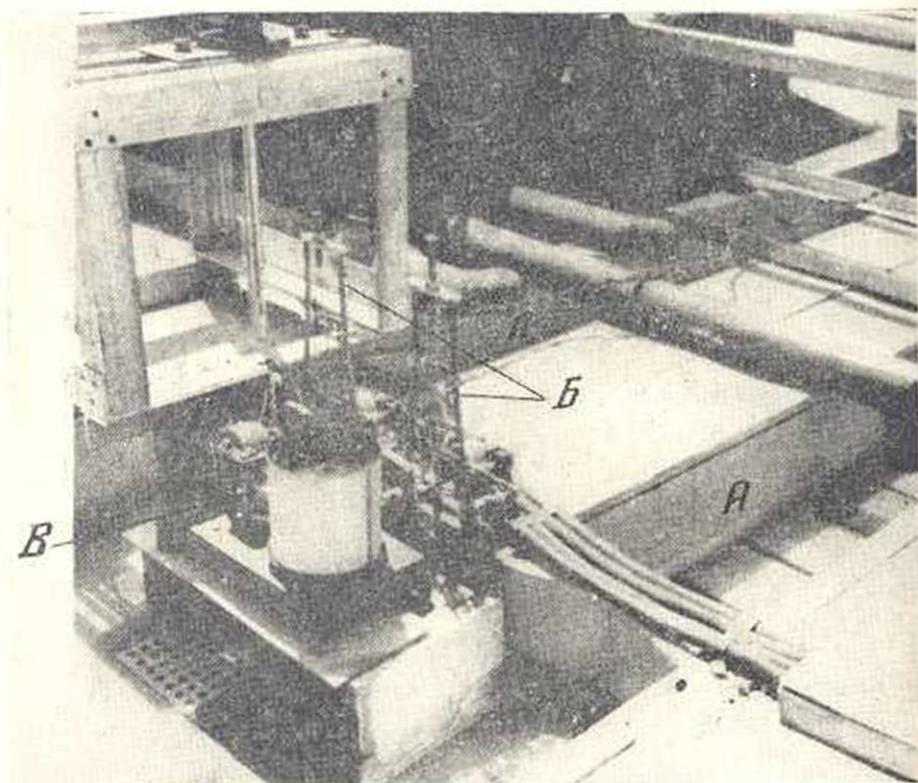
Фиг. 3. Часть лагеря Кувшинского гидроузла. А—командный пункт; Б—шлюзы; В—межпоземный бьеф; Г—мостик; Д—мостик; Е—мостик; Ж—мостик; З—мостик; И—мостик; К—мостик; Л—мостик; М—мостик; Н—мостик; О—мостик; П—мостик; Р—мостик; С—мостик; Т—мостик; У—мостик; Ф—мостик; Ц—мостик; Ч—мостик; Ш—мостик; Щ—мостик; Ъ—мостик; Ы—мостик; Ь—мостик; Э—мостик; Ю—мостик; Я—мостик.



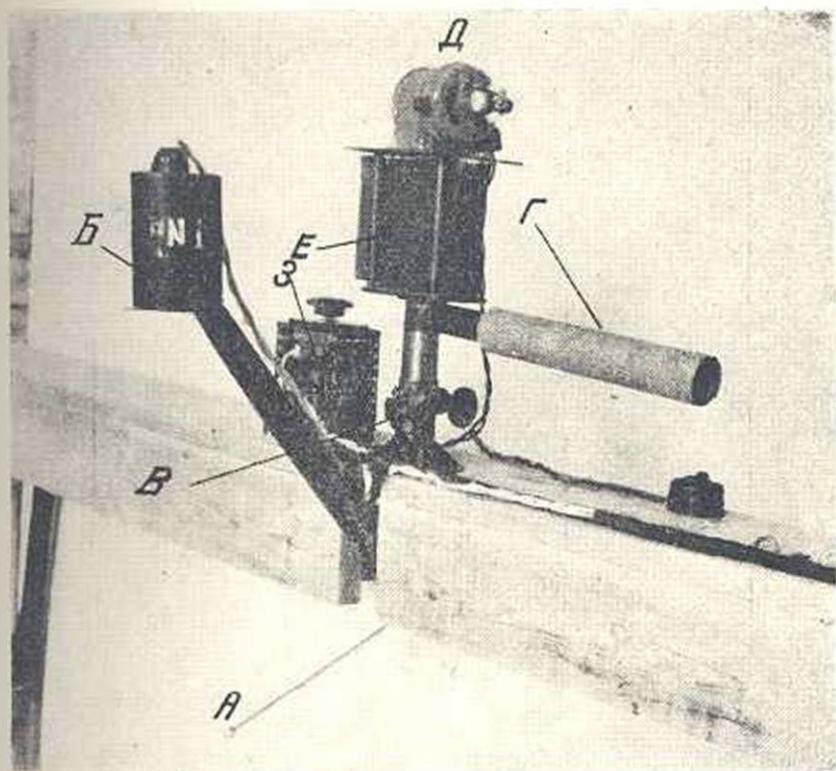


Фиг. 1. Командный пункт. Пульс телеуправления авиационным типом  
плотов и самонаводящимися приборами косматой группы: А и В—узел  
телеуправления засветографами и кинографами; В—восстановительный  
осциллограф.

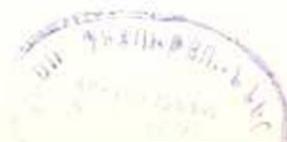


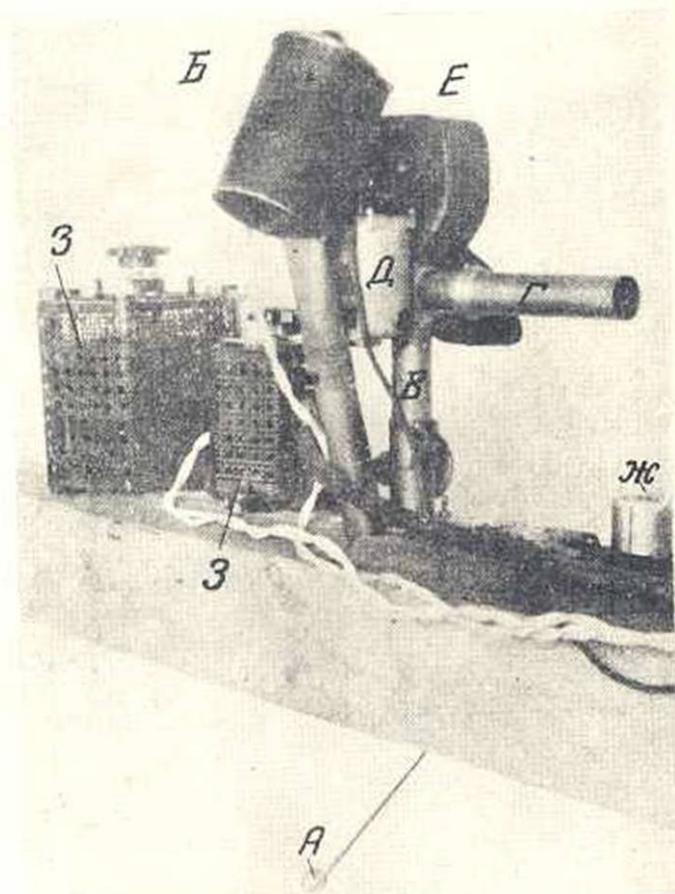


Фиг. 5. Модель шлюзных камер А с автоматическими лабораторными затворами Б, приводимыми в действие из командного пункта, открывающими доступ воды из шлюза в канал по любому заранее заданному закону изменения расхода воды во времени. Перед затворами прибор В, записывающий изменение открытия шлюза по времени.

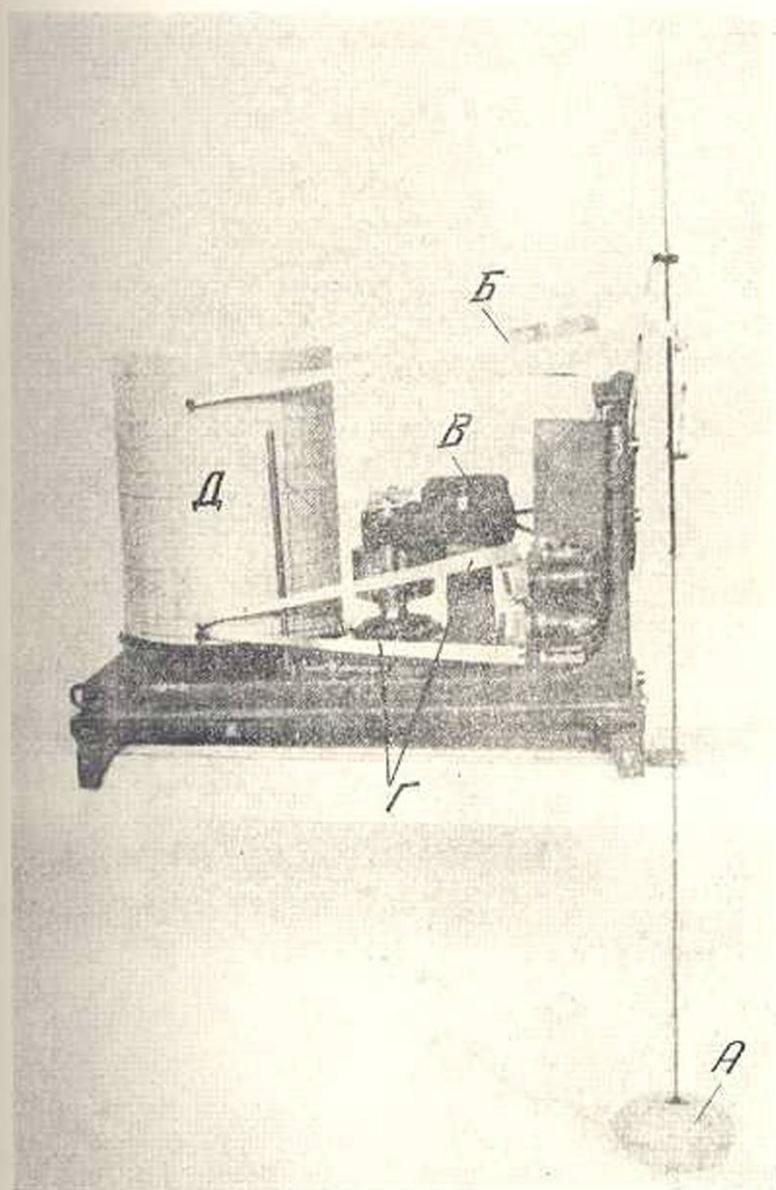


Фиг. 6. Кинограф системы Гидроэлектрической лаборатории (ГЭЛ), записывающий колебания уровня на кинолентку с увеличением, с кассетой сверху. А—поплавок, соединенный с вращающимся вокруг оси зеркальцем; Б—лампа; В—трубка отраженного луча; Г—перископ; Д—электромотор; Е—коробка для кассеты Ж с киноленткой; З—измерительные трансформаторы





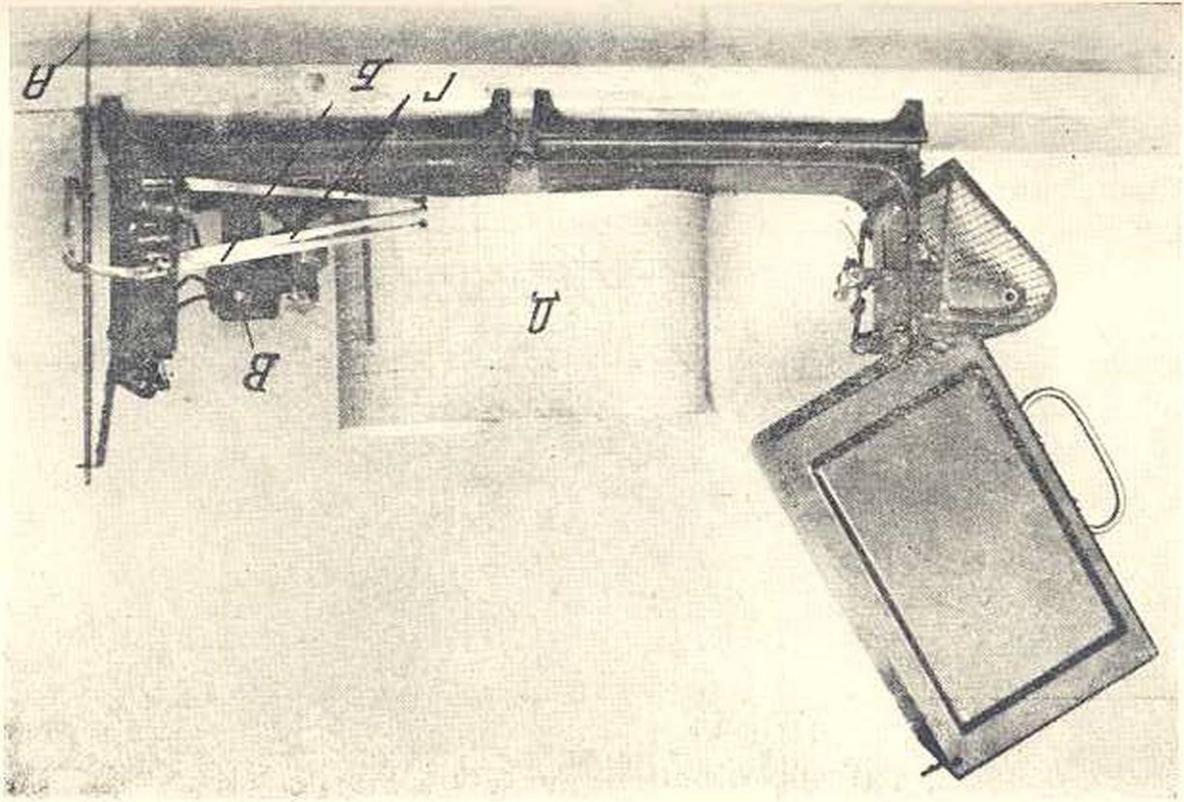
Фиг. 6а. Кинограф той-же системы с кассетой сбоку. А—поплавок, соединенный с вращающимся вокруг оси зеркальцем; Б—лампа; В—грубка отраженного луча; Г—перископ; Д—электромотор; Е—коробка для кассеты Ж с киноплёнкой; З—измерительные трансформаторы



Фиг. 7. Прибор, записывающий колебание уровня воды в шлюзе, время, и время открытия затвора шлюза. А—поплавок; Б—перо полавка; В—электромотор с фрикционной передачей; Г—перо времени и открытия затвора.



Фиг. 7а. Сварочный аппарат, регулируемый посредством вращения рукоятки вправо и влево. А — рукоятка; В — рычаг; С — рычаг; D — рычаг; E — рычаг; F — рычаг; G — рычаг; H — рычаг.



**Ի. Վ. Եզիազարով**

**ՎԻՅԻԱՐԻ ՀԻԳՐՈԿԱՌՈՒՑՈՒՄՆԵՐԸ՝ ԿՈՍՈՒՆԻԶՄԻ ՄԵԾ ԿԱՌՈՒՑՈՒՄՆԵՐՆ ԵՆ**

**Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ**

Հոգիածուժ ցույց է արված բնության վերափոխման Ստալինյան պլանի զիջխարի մեծությունը: Կատարված է արտասահմանյան և սովետական պայմաններում ժաղովրդական տնտեսության խոշոր պրոդուկտների իրականացման համեմատություն, ցույց է արված էլեկտրիֆիկացման և դյուրատնտեսության զարգացումը մեր սոցիալիստական իրականության մեջ, կոմունիզմի կառուցման նյութական բազայի հետադուր էլ ավելի ամրացնելու մասին: Տրված է մեծ կառուցումների հետ կապված կառուցվածքների բնորոշումը և շտապված է Արալյան և Կասպից ծովերի սնուցման համար Օր գետի օգտագործման պրոյեկտը:

Բնակարկված են մեծ կառուցումների աշխատանքի ծավալը և կատարման պայմանները, անհրաժեշտ բացառիկ նյութական հիգրոսկոպիկացմանը և շինարարական մեխանիզմների հարցը, հսկայական քանակությամբ էլեկտրաէներգիայի միջև 1000 կմ տարածությամբ փոխանցման գծավորությունները:

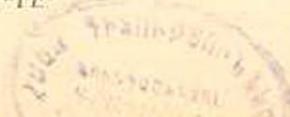
Բնութագրված է մեծ կառուցումների հաջողությունը որոշող գիտական բազան և համառոտ թվարկված են Հայկական ՄՄԻ գիտությունների Ակադեմիայի կողմից մեծ կառուցումների համար կատարվող աշխատանքները:

Տրված է Ջրա-էներգետիկ ինստիտուտի կողմից Կույրիչեյան հիդրոհանգույցի մոդելի վրա կատարվող հետազոտությունների նկարագրությունը:

Այդ հետազոտությունների համար կառուցված է բացօթյա հատուկ լաբորատորիա, սրի կառուցվածքների սխեման տրված է Ֆիզ. Լ-ում:

Բերված է ՄՄԻՄ-ում մի քանի հիդրոլաբորատորիաների զարգացման համառոտ տեսությունը և ցույց է տրված այդ զարգացման կապը մեր հիդրոտեխնիկական շինարարության աճի հետ:

Ֆիզ. 2 և 3-ում ցույց է արված Կույրիչեյան հիդրոհանգույցի և նրա հիմնական բազայի մասերի մոդելը, Ֆիզ. 5-ում՝ ամրամաս գրանցումով նետահառաքման նրամանատարական կայանը: Այլտոմատորեն զբաղեցված են մոդելի վրա գիտվող այլ բային երևույթները, որոնք առաջանում են հիդրոհանգույցի ջրարդևակներից ջուրը թողարկելիս: Ֆիզ. 6 և 6Ա-ում ցույց են արված գործիքներ, որոնք այլ բային տատանումները ամրամասի կողմից գրանցում են կինո-ժապավենի վրա: Գործիքների կոնստրուկցիան և պատրաստումը կատարվել է լաբորատորիայի կողմից: Ֆիզ. 7 և 7Ա-ում ցույց են արված գործիքներ, որոնք գրանցում են ջրարդևակի ամրամասի կողմից փակվելու աշխատանքները և ջրարդևակներում մակերևույթների տատանումները:



Նշված է ալիքային տատանումների ազդեցությունը կայրիչեկյան հիդրոնանդոյցի ջրարգելակային սխեմեմի կառուցվածքների չափերի որոշման վրա և հաշվարկման տեսական աշխատանքները, կատարված Ի. Եղիազարովի մեթոդով:

Ժողովուրդների մեծ առաջնորդ բնկեր Ստալինի ղեկավարությամբ տարվող Սովետական Միության խաղաղասիրական քաղաքականությունը նոր, փայլուն արտահայտություն է գտնում կոմունիզմի մեծ կառուցումների մեջ:

А. М. Осепян

## Выбор экономичного режима работы гидроэнергосистемы при комплексном годовичном регулировании

Для создания благоприятного режима гидроэнергосистемы работу последней в годовичном разрезе можно отрегулировать перераспределением годового стока и приспособлением его использования к условиям потребления, что достигается сооружением водохранилищ, строительством тепловых станций—ТЭС, которые должны пополнить недостаток энергии в маловодные периоды и обеспечить равномерную выработку энергии в течение года, и, наконец, регулированием самого потребления.

В настоящей статье излагается методика расчета по выбору оптимального варианта годовичного регулирования режима работы гидроэнергосистемы в условиях, когда регулирование производится одним из упомянутых выше способов или при комбинировании этих способов.

### 1. Регулирование гидросистемы только тепловыми станциями

В условиях отсутствия регулирующих водохранилищ и потребителей регуляторов для тепловых станций неэкономично брать на себя частичное годовичное регулирование, так как это приводит к снижению коэффициента использования мощности станции. Это положение можно проследить на фиг. 1.

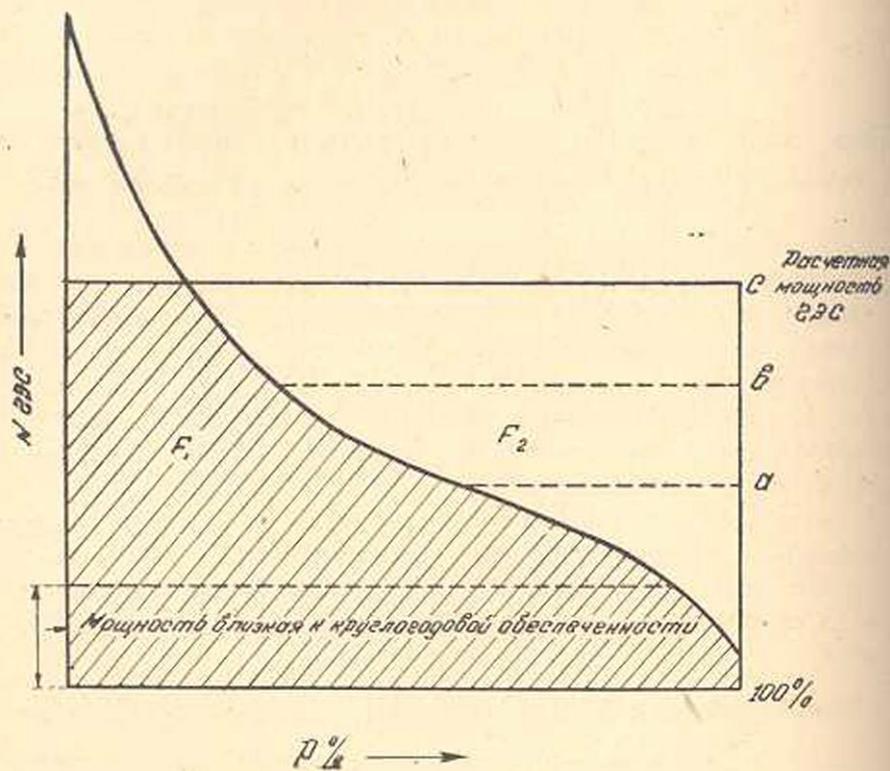
Площадь  $F_1$ , ограниченная частью кривой обеспеченности средне-суточных расходов, показывает зону возможной выработки электроэнергии гидростанциями.

Площадь  $F_2$  показывает зону возможной выработки электроэнергии тепловыми станциями.

Очевидно, что наибольшее число часов использования установленной мощности ТЭС получим при доведении ее до уровня  $C$  и этот вариант мощности имеет бесспорное преимущество перед вариантом, когда мощность ТЭС ограничена уровнями  $a$  и  $b$ .

Напомним, что основные экономические показатели ТЭС, как то: себестоимость *квтч* электроэнергии, коэффициент использования капиталовложений, и удельный расход топлива на *квтч* электроэнергии находятся в тесной зависимости от коэффициента использования установленной мощности станции.

Условия  
электрического годичного регулирования  
режима работы ТЭС тепловым резервом



Фиг. 1

При регулировании работы гидросистемы тепловыми станциями последние получают назначение снабжать энергией электроемкую промышленность, но не в качестве основного, а дополнительного энергоисточника. При этом возникает необходимость решения задачи нахождения оптимального варианта энергоснабжения электроемкой промышленности от ТЭС или гидростанций.

Необходимо установить показатели, способные соизмерить экономичность одновременных дополнительных капиталовложений в строительстве гидростанции с будущим эффектом, в виде ожидаемого уменьшения эксплуатационных затрат.

При выборе источника энергоснабжения электроемкой промышленности нельзя решать задачу чисто математическим путем, так как необходим учет многих факторов, некоторые из которых не поддаются количественному выражению. В этом вопросе роль расчетов подчиненная; определяющим является экономический анализ.

Гидротехнические сооружения ГЭС во многих случаях являют-

ся также сооружениями сложного водохозяйственного комплекса (ирригация, водный транспорт и т. д.).

„Двойная связь с народным хозяйством через энергосистемы и водохозяйственный комплекс осложняет аналитическое решение вопросов эффективного использования водных ресурсов“ [1].

Следовательно, без глубокого экономического анализа с учетом развития всех сторон народного хозяйства нельзя решать вопрос выбора источника энергоснабжения народного хозяйства.

Предлагаемая нами формула для экономического расчета при выборе энергисточника имеет вспомогательное значение.

Эта формула имеет следующий вид:

$$\frac{1}{h_r} \bar{K}_{н.г} - \frac{1}{h_r} \bar{K}_{н.т} \ll S_t - S_r, \quad (1)$$

где  $\frac{1}{h}$  — „тяжесть“ дополнительных капиталовложений или норма компенсации дополнительных капиталовложений [4],

$\bar{K}_н$  — удельные капиталовложения на *квт* установленной мощности,

$h$  — число часов использования установленной мощности электростанции,

$S$  — себестоимость 1 *квтч* электроэнергии.

Индексы означают:

$t$  — тепловая станция,

$г$  — гидростанция.

При определении удельных капиталовложений на *квт* мощности ТЭС нужно учесть капиталовложения, необходимые для создания топливной базы ТЭС, а также вложения в ж.-д. транспорт для доставки топлива от места ее добычи до места расположения ТЭС.

Кроме того необходимо учесть, что тепловая станция значительное количество электроэнергии (от 5% до 12%) расходует на собственные нужды, в то время как гидростанция на собственные нужды расходует до 0,5% выработанной электроэнергии. Этот момент также надо оценить, как фактор, повышающий удельные капиталовложения в строительстве ТЭС — в среднем на 8%.

Если принять стоимость уст. *квт* мощности ГЭС, в зависимости от местных условий, в пределах от 2 до 5 тыс. рублей, а по тепловым станциям — 1 тыс. рублей (в ценах 1936 г.), то гидроэнергия может считаться экономичной, если она дешевле тепловой электроэнергии для тех же пределов на 2, 0—9,6 коп. на *квтч* (расчет произведен по формуле (1)).

При полном регулировании режима работы гидросистемы тепловыми станциями решение задачи намного упрощается. В этом случае тепловая станция имеет назначение снабжать электроэнергией электроемкую промышленность, но не в качестве основного

источника, а в качестве регулирующего резерва, при этом электроемкое производство переходит на постоянный режим работы с передачей регулирования тепловым станциям.

В этом случае режим работы тепловых станций должен быть подчинен режиму гидросистемы; в результате этого подчинения снижается число часов использования установленной мощности тепловых станций.

Конденсационная станция, снабжающая электроэнергией электроемкую промышленность, в состоянии довести число часов использования установленной мощности до 7000—7200, т. е. до уровня, возможного по условиям технологии в электроемком производстве.

Снижение числа часов использования установленной мощности тепловых станций приводит к двум категориям потерь:

1. Вынужденные дополнительные издержки производства [2].
2. Повышение удельных капитальных вложений, вызванное уменьшением коэффициента использования установленной мощности станции [2].

Очевидно, что эти потери могут быть оправданы экономией, полученной в результате перевода электроемкой промышленности с сезонного на ровный график энергоснабжения.

Исходя из сказанного, экономичность регулирования тепловыми станциями можно определить из следующего выражения:

$$\frac{\frac{1}{\tau} \Delta \bar{K}_{\text{ит}} + \Delta U_{\text{т. квт.}}}{h_{\text{тр}}} \leq \frac{\frac{1}{\tau} \bar{K}_{\text{ипр}} + U_{\text{ипр}}}{\bar{\varepsilon}_{\text{уд}}} \quad (2)$$

Где  $\Delta \bar{K}_{\text{ит}}$  — дополнительные капиталовложения на *квт* мощности ТЭС, вызванные снижением коэффициента использования мощности ТЭС и определяемые по формуле:

$$\Delta \bar{K}_{\text{ит}} = \bar{K}_{\text{ит}} \frac{h_{\text{от}}}{h_{\text{ст}}} - \bar{K}_{\text{ит}} \quad (3)$$

где  $h_{\text{от}}$  — число часов использования установленной мощности ТЭС при работе в энергосистеме, где преобладают тепловые станции,  $h_{\text{тр}}$  — число часов использования установленной мощности ТЭС при работе последней как регулятора,

$\Delta U_{\text{т. квт.}}$  — дополнительные издержки производства на *квт* мощности ТЭС при работе последней в качестве регулятора.

Методика определения величин  $\frac{1}{\tau}$ ,  $\Delta \bar{K}_{\text{ипр}}$ ,  $\Delta U_{\text{ипр}}$  и  $\bar{\varepsilon}_{\text{уд}}$  дана в наших прошлых исследованиях [3, 4].

Если тепловой резерв по своим экономическим показателям не удовлетворяет требованиям приведенного выше уравнения, то надо считать, что этот резерв менее экономичен, чем регулирование потребителем.

## 2. Регулирование гидросистемы тепловыми станциями в комбинировании с регулированием потребления

Комбинирование регулирования тепловыми станциями с потребителями-регуляторами во многих случаях может служить более эффективным мероприятием для годовичного регулирования, чем регулирование одними тепловыми станциями. Это видно на фиг. 2.

### Условия

Электрического годовичного регулирования режима работы ГЭС тепловыми станциями в комбинировании с регулированием потребления

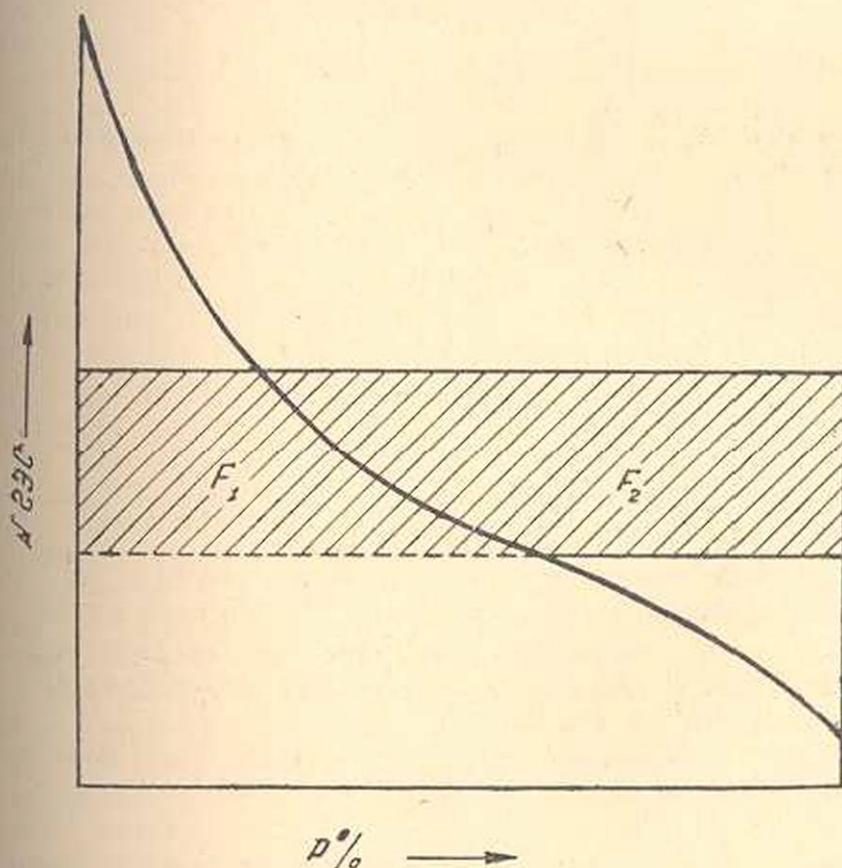


Рис. 2

Работа потребителя-регулятора в зоне  $F_1$  графика нагрузки создает весьма тяжелые условия для эффективной работы потребителя-регулятора, так как в этом случае мы имеем низкую обеспечен-

ность потребителя-регулятора электроэнергией. Одновременно зона  $F_2$  графика нагрузки весьма благоприятна для работы тепловых станций.

Использование тепловых станций в качестве регулятора в зоне  $F_2$  может быть оправдано в том случае, если экономия, полученная от повышения степени обеспечения производства электроэнергией покрывает потери, получаемые при работе тепловой станции в режиме регулятора.

Отсюда экономичность тепловой станции в роли регулятора можно определить следующим выражением:

$$\Delta S_1 + \frac{1}{\tau} \Delta \bar{K}_{\text{итквтч}} < \left[ \frac{\frac{1}{\tau} \Delta \bar{K}_{\text{ипр}} + \Delta U_{\text{пр}}}{\partial_{\text{уд}}} \right]_{B_1} - \left[ \frac{\frac{1}{\tau} \Delta \bar{K}_{\text{ипр}} + \Delta U_{\text{пр}}}{\partial_{\text{уд}}} \right]_{B_2} \quad (4)$$

а экономический предел годовичного регулирования тепловыми станциями определяется следующей формулой:

$$\left[ \frac{\frac{1}{\tau} \Delta \bar{K}_{\text{ипр}} + \Delta U_{\text{пр}}}{\partial_{\text{уд}}} \right]_{B_1} - \left[ \left( \frac{\frac{1}{\tau} \Delta \bar{K}_{\text{ипр}} + \Delta U_{\text{пр}}}{\partial_{\text{уд}}} \right) + \left( \Delta S_1 + \frac{1}{\tau} \Delta \bar{K}_{\text{итквтч}} \right) \right]_{B_2} = 0, \quad (5)$$

где  $\Delta S_1$  — дополнительные издержки на 1 *квтч* по тепловой станции из-за работы ее в режиме регулятора,

$\Delta \bar{K}_{\text{итквтч}}$  — дополнительные капиталовложения на 1 *квтч* тепловой электроэнергии из-за работы последней в режиме регулятора,

$\Delta \bar{K}_{\text{ипр}}$  — дополнительные капиталовложения на тонну продукции электроемкой промышленности вследствие работы последней в режиме потребителя регулятора,

$\Delta U_{\text{пр}}$  — дополнительные издержки производства на тонну продукции электроемкой промышленности вследствие работы ее в режиме потребителя-регулятора,

$\partial_{\text{уд}}$  — удельный расход электроэнергии на тонну продукции потребителя-регулятора.

$B_1$  — вариант, когда потребитель-регулятор обеспечен электроэнергией в меньшей степени из-за отсутствия в системе регулирующих тепловых станций,

$B_2$  — вариант, когда потребитель-регулятор обеспечен электро-

энергией в более высокой степени из-за частичного или полного регулирования гидросистемы тепловыми станциями.

### 3. Регулирование гидросистемы водохранилищами в комбинации с регулированием потребления

Техническая возможность и экономическая целесообразность годичного регулирования водохранилищами в значительной степени зависит от местных условий.

Весьма возможны случаи, когда полное годичное регулирование водохранилищами приводит к таким затоплениям территорий и подтоплениям сооружений, что оно не может быть оправдано экономически.

В этом случае приходится довольствоваться частичным годичным регулированием.

Весьма интересным вопросом является определение ущерба, получаемого от затоплений и подтоплений при сооружении водохранилищ.

Исследования, проведенные в этой области М. А. Лифановым [5], показали, что размеры затопляемых площадей могут быть достигнуты в отдельных случаях значительной величины. Капиталовложения, вызываемые затоплениями в процентах от общей стоимости сооружений ГЭС, составляют по действующим и запроектированным ГЭС от 3,1 до 93,0% [5].

Необходимо также учесть, что в горных условиях емкость водохранилища в некоторых случаях лимитируется высотой плотины, для которой в определенных геолого-топографических условиях существует экономический предел.

Методика расчета необходимого объема водохранилища для многолетнего и годичного регулирования стока подробно разработана в гидроэнергетической литературе, и этого вопроса в настоящей статье касаться мы не будем.

Расчет экономичности регулирования водохранилищами должен быть проведен следующим образом: по методике, изложенной в нашей статье [3], находим оптимальную мощность ГЭС, применяя в качестве регулятора электроемкий потребитель.

При годичном регулировании режима работы ГЭС водохранилищем вопрос сводится к тому, чтобы за счет капиталовложений в сооружение водохранилища перевести электроемкую промышленность на постоянный режим работы или же повысить процент обеспечения производства электроэнергией. Очевидно, что сооружение водохранилища может быть оправдано экономией, получаемой в результате перевода электроемкой промышленности на постоянный режим работы.

Экономичность проектируемого водохранилища для полного годичного регулирования по сравнению с регулированием потребителями определяется следующим выражением:

$$S_{гр} + \frac{1}{\tau} \Delta \bar{K}_{гр} - S_{н} \leq \frac{\frac{1}{\tau} \Delta \bar{K}_{нпр} + \Delta \bar{U}_{нпр}}{\bar{\Delta} \epsilon_{уд}} \quad (6)$$

а экономический предел годовичного регулирования водохранилищами определяется следующей формулой:

$$\frac{1}{\tau} \Delta \bar{K}_{нпр} + \Delta \bar{U}_{нпр} \left( S_{гр} + \frac{1}{\tau} \Delta \bar{K}_{гр} - S_{н} \right) = 0, \quad (7)$$

где  $S_{гр}$  — себестоимость 1 *квтч* зарегулированной гидроэлектроэнергии в годовичном разрезе,

$S_{н}$  — то же для незарегулированной гидроэлектроэнергии,

$\Delta \bar{K}_{гр}$  — дополнительные капиталовложения, приходящиеся на 1 *квтч* электроэнергии зарегулированной ГЭС,

$\Delta \bar{U}_{нпр}$  — дополнительные издержки производства, приходящиеся на тонну продукции с учетом сезонности энергоснабжения производства,

$\bar{\Delta} \epsilon_{уд}$  — удельный расход электроэнергии на тонну продукции,

$\Delta \bar{K}_{нпр}$  — дополнительные капиталовложения, приходящиеся на тонну продукции потребителя-регулятора в связи с работой завода на сезонном графике, т. е. неполной нагрузкой.

При частичном годовичном регулировании повышается коэффициент использования стока, в большинстве случаев повышается используемый средний взвешенный напор станции и увеличивается возможная выработка электроэнергии. В результате всего этого повышается степень обеспечения потребителя электроэнергией.

Если удельные капиталовложения, приходящиеся на 1 *квтч* гидроэлектроэнергии при частичном регулировании, в результате воздействия факторов, отмеченных выше, снижаются, то очевидно, что сооружение водохранилищ необходимо считать экономически оправданным. (Во всех расчетах принято, что часть сезонной гидроэнергии, преобразованная в результате частичного годовичного регулирования в постоянную, предоставляется потребителю-регулятору).

Следовательно, должны быть рассмотрены случаи, когда капиталовложения на 1 *квтч* электроэнергии при годовичном регулировании повышаются.

Существующие способы энерго-экономических расчетов не в состоянии правильно оценить эффективность водохранилища при комплексном регулировании гидросистемы.

В настоящее время экономичность гидростанции определяется по минимуму себестоимости энергии с учетом тяжести капиталовложений.

Если при экономической эффективности водохранилища исходить из этого показателя, то должны быть оправданы только те

водохранилища годичного регулирования, которые гарантируют снижение удельных капиталовложений на 1 квтч электроэнергии. Между тем, энергетическая и экономическая эффективность водохранилища полного или частичного годичного регулирования определяется в основном тем, что улучшается режим энергоснабжения потребителей, а отсюда и повышаются технико-экономические показатели работы потребителей электроэнергии.

Возникает необходимость разработки показателя, способного соизмерить экономическую эффективность, получаемую от повышения степени обеспечения электроэнергией производства с повышением удельных капиталовложений на квтч гидроэлектроэнергии и себестоимости последней в результате сооружения водохранилища.

В качестве комплексного показателя, способного учесть и оценить факторы, относящиеся как к водохранилищам, так и к потребителям энергии, предлагается комплексная годичная себестоимость продукции  $d_{\text{ком.гр}}$ , которая определяется по следующей формуле:

$$d_{\text{ком.гр}} = \left[ \frac{(S_{\text{вн}} - S_{\text{вн}}) \cdot \bar{\Delta}_{\text{пост.}}}{\Delta \bar{\Delta}_{\text{вод}}} + S_{\text{вн}} - S_{\text{вн}} \right] \cdot \bar{\Delta}_{\text{уд}} + \\ + \left[ \left( \bar{K}_{\text{квтч. вн}} - \bar{K}_{\text{квтч. вн}} \right) \cdot \frac{1}{\tau} \cdot \bar{\Delta}_{\text{уд}} \right] - \left[ \frac{1}{\tau} \left( \bar{K}_{\text{првн}} - \bar{K}_{\text{првн}} \right) + \right. \\ \left. + \left( d_{\text{вн}} - d_{\text{вн}} \right) \right], \quad (8)$$

где:  $S$  — себестоимость 1 квтч электроэнергии,  $\bar{\Delta}_{\text{пост.}}$  — количество электроэнергии, полученной незарегулированной гидростанцией, по мощности близкой к кругло-годовой обеспеченности,

$\Delta \bar{\Delta}_{\text{вод}}$  — приращение количества электроэнергии в результате сооружения водохранилища,

$\bar{K}_{\text{квтч}}$  — капиталовложения на 1 квтч электроэнергии,

$\bar{K}_{\text{пр}}$  — капиталовложения на тонну продукции потребителя-регулятора,

$d$  — себестоимость тонны продукции потребителя-регулятора (без учета фактора повышения себестоимости электроэнергии),

$v_0$  — вариант отсутствия регулирования водохранилищем,

$v_1$  — вариант наличия регулирующего водохранилища.

Невозможность аналитического решения задачи ввиду многообразия факторов вызывает необходимость проведения расчетов по ряду вариантов и определения искомого оптимума по минимуму  $d_{\text{ком.гр}}$ .

Ниже приводим таблицу, по которой производится расчет экономической эффективности частичного регулирования режима работы ГЭС водохранилищами в комбинировании с регулированием потребления (см. таблицу в конце). Показатели, приведенные в таблице, условные, но отражают общий характер режима потребителя и ГЭС, работающей на горном водотоке.

Условно примем, что частичное годовое регулирование водохранилищем приводит к увеличению выработки электроэнергии до 212 млн. *квтч*, т. е. на 18,6 млн. *квтч* против варианта регулирования потреблением, или на 10%.

Дополнительная выработка электроэнергии, полученная в результате сооружения водохранилища и выделенная потребителю-регулятору, повысит обеспеченность электроэнергией потребителя-регулятора с 63% до 72%.

Для выявления эффективности капиталовложений в сооружение водохранилища в случае, когда этот вид регулирования осуществляется с регулированием потребителей, условно приняты 3 разные стоимости одного и того же водохранилища.

По 1-му варианту принято, что удельные капиталовложения на 1 *квтч* электроэнергии в результате частичного годового регулирования не возрастают.

В этих условиях экономичность водохранилища не вызывает сомнения, что наглядно показывают данные таблицы, из которых видно, что комплексная себестоимость снижается на 12%, т. е. с 786 рублей при регулировании потребителем до 692 рублей при комбинированном регулировании.

По второму варианту удельные капиталовложения ГЭС на 1 *квтч* электроэнергии повышаются на 7%, что в свою очередь повышает себестоимость 1 *квтч* электроэнергии на 4%.

Как показывают данные, приведенные в таблице, это повышение стоимости оправдывается экономией, полученной у потребителя-регулятора благодаря повышению коэффициента использования капиталовложений и снижению себестоимости продукции.

Комплексная себестоимость продукции дает снижение на 3% по сопоставлению с вариантом регулирования потребителя без участия водохранилищ.

По третьему варианту рост капиталовложений на 1 *квтч* электроэнергии доведен до 10%. Участие водохранилища в регулировании режима гидроэлектростанций в этом варианте себя не оправдывает, так как приводит к повышению комплексной себестоимости против варианта регулирования потребителем на 12%.

#### 4. Регулирование режима работы гидросистемы тепловыми станциями в комбинировании с водохранилищем и потребителем-регулятором

О неравномерности распределения выработки электроэнергии незарегулированной гидросистемы в пределах одного года судят по кривой продолжительности.

Часть графика, относящаяся к дефициту электроэнергии системы, разобьем на 2 зоны:  $F_2$ ,  $F_3$  (фиг. 3).  $F_1$  обозначим зону выработки электроэнергии гидроэлектростанций.

Условия  
электрического годового регулирования  
режима работы ГЭС тепловыми станция-  
ми и водохранилищем

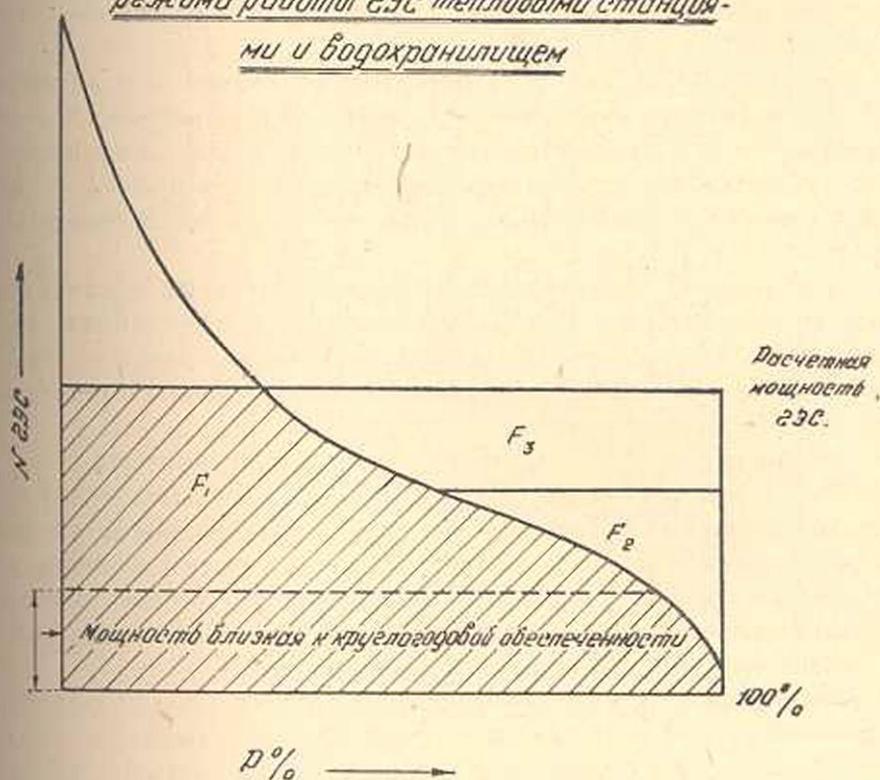


Рис. 3

График показывает, что тепловые станции при совместной работе с водохранилищами во многих случаях могут служить более эффективным мероприятием для годового регулирования, чем регулирование одними тепловыми станциями.

Как ясно видно из графика, покрытие дефицита в электроэнергии при работе ТЭС в зоне  $F_2$  создает для них весьма тяжелые условия, так как дублирующая часть тепловых станций должна работать с низким коэффициентом использования мощности. Обратную картину получим если покрытие дефицита в электроэнергии в зоне  $F_2$  возложить на водохранилище, так как для этого потребуются сравнительно небольшой объем водохранилища и соответственно небольшие дополнительные капиталовложения.

Расчет по нахождению оптимального варианта комбинированного регулирования производится следующим образом.

Вначале устанавливается предельная, экономически невыгоднейшая емкость водохранилища.

Если по местным условиям сооружение водохранилища того или иного объема приводит к неоправдываемому повышению капиталовложений на 1 *квтч* электроэнергии по сравнению с регулированием потребления, то вариант комбинированного регулирования с участием водохранилищ отпадает. Расчет ведется по способу, изложенному в п. 3.

Если водохранилища себя оправдывают только как мероприятие, обеспечивающее частичное годовое регулирование, то необходимо провести дополнительные расчеты методом, изложенным в п. 2 для выяснения степени целесообразности проведения регулирования тепловыми станциями по сравнению с потребителями-регуляторами.

Необходимость проведения этих дополнительных расчетов объясняется тем, что, как было выявлено выше, при регулировании режима работы гидросистемы тепловыми станциями совместно с водохранилищами или без них экономические показатели тепловых станций получаются разными.

Обобщая сказанное, приходим к следующим выводам.

Регулирование энергосистемы можно осуществлять водохранилищами, тепловыми резервами, а также потребителем-регулятором.

Водоохранилища в комбинировании с тепловыми станциями могут создать более благоприятные экономические условия годового регулирования гидроэнергосистемы, нежели регулирование только тепловыми станциями или водохранилищем.

Оптимальный вариант регулирования гидросистемы должен быть выбран при учете всех возможных способов регулирования (тепловым резервом, водохранилищем, регулированием потребления) при одновременном комбинировании этих способов.

Водно-энергетический институт  
Академии наук Армянской ССР

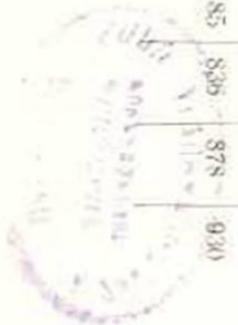
Поступило 5 VII 51

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Золотарев Т. Л. — Проблемы гидроэнергетической науки. „Гидротехническое стро-во“ № 4, 1949.
2. Куценов В. А., Штейнгауз Е. О. — Об энергетической эффективности гидроэлектростанций, „Гидротехническое стро-во“ №1, 1946.
3. Осепян А. М. — Карбидные и ферросплавные электроды, как потребители-регуляторы гидроэнергии, „Электричество“ № 8, 1948.
4. Осепян А. М. — Критерий экономичности в гидроэнергетических расчетах, Известия АН Армянской ССР (физ.-мат., естеств. и техн. науки), № 4, 1950.
5. Лифанов М. А. — Организация части водохранилища. М.—Л., 1946.
6. Осепян А. М. — Выбор многолетней нормы обеспеченности при комплексном регулировании режима работы гидроэнергосистемы, Известия АН Армянской ССР (физ.-мат., естеств. и техн. науки), № 2, 1951.

Варианты с водохранилищем (при равном энергетическом эффекте и разных стоимостях водохранилища)

3-й случай	2-й случай	1-й случай	Вариант без водохранилища	№№ показателей
36	36	36	36	1
212	212	212	193,4	2
72	72	72	63	3
156 <sup>2</sup>	156 <sup>5</sup>	156	156 <sup>1</sup>	4
5-05	2-28	—	1-53	20
+0-85	-1-92	-2-67	-2-67	21
836	836	836	920	22
878	741	703	786	23
930	759	692	786	24



Для расчета оптимальной реакции с потребителями

Установленная мощность гидростанций (в мвт)	
Выработка электроэнергии с учетом графика нагрузки	
Степень обеспечения производства электроэнергией (в %)	
Стоимость гидростанции без водохранилища (в млн. руб.)	
Себестоимость 1 квтч электроэнергии по каждому варианту (в коп.)	
Экономия, полученная в стоимости 1 квтч электроэнергии по данному варианту (в коп.)	
Электричество учтено по себестоимости, полученной при круглогодичной обеспеченности	Себестоимость топлива и продуктов потребителя-ре- гулятора (в руб.)
Электричество учтено по себестоимости энергии в данном варианте	
Комплексная себестоимость	

Ա. Մ. Հովսեփյան

ՀԻՐՈՍԻՍՏԵՄԱՅԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԷԿՈՆՈՄԻԿ ՌԵԺԻՄԻ ԸՆՏՐՈՒՄԸ  
ԿՈՄՊԼԵՔՍԱՅԻՆ ՏԱՐԵԿԱՆ ԿԱՆՈՆԱՎՈՐՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Աշխատությունն մեջ հետազոտված է հիդրոսիստեմայի տարեկան կանոնավորման էներգետիկ և էկոնոմիկ պայմանները՝ ջրամբարի, ջերմային սեղերի և սպառիչ-կանոնավորիչների առկայությունը գեղջում:

Ապացուցված է, որ ջրամբարը ջերմային սեղերով հեռավորումների կամ արդյունավետության համար, համեմատած այն գեղջերի հետ, երբ կանոնավորումը կատարվում է միայն ջերմային սեղերով կամ թե ջրամբարի միջոցով:

Կանոնավորման օպտիմում վարելանքը պետք է բնորոշել, նկատի ունենալով կանոնավորման բոլոր հնարավոր ձևերը (ջերմային սեղերով, ջրամբար, սպառիչ կանոնավորիչ) և կանոնավորման այդ ձևերի կամ բնագրի:

Աշխատությունն մեջ արված է նոր էկոնոմիկ ցուցանիշ (Ս կամ պլ.) և մշակված է նրա հաշվման համար համապատասխան մեթոդ: Այդ ցուցանիշը հնարավորություն է ապրիտ ճիշտ գնահատելու ջերմային կայանի և ջրամբարի էներգետիկ և էկոնոմիկ էֆեկտը:

Գոյություն ունեցող մեթոդները, որոնց միջոցով որոշվում է այս կամ այն կանոնավորիչի էկոնոմիկ լինելը, հիմնված են սխառմայում էլեկտրաէներգիայի միեմալ ինքնարժեք ստանալու կանոնակի վրա, հաշվի առնելով կապիտալ ներդրումների ծանրությունը: Ի տարբերություն դրան նոր մեթոդը միաժամանակ ցույց է ապրիտ ստացվող էկոնոմիկ էֆեկտը էներգիայի սպառիչների մաս:

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

М. С. Торгомян

Цикличность в ходе водности рек и ее влияние  
 на колебания выработки электроэнергии

В водохозяйственных расчетах по проектированию режима гидростанций, работающих в системе, нельзя ограничиться в гидрологической части только определением обычных характеристик речного стока и, в частности, годового стока различной обеспеченности для каждой реки. Нужно еще учитывать имеющую большое значение хронологическую последовательность лет различной водности для каждой реки, используемой гидросистемой, и степень синхронности колебаний годового стока этих рек.

При производстве водохозяйственных расчетов безразлично, имеет ли место чередование многоводных и маловодных лет или последние сосредотачиваются группами.

Гидроэнергетическая система при полном использовании водных ресурсов в горных условиях обычно состоит из ряда каскадов ГЭС. Исследование, учитывающее чередования лет различной водности и синхронность в режимах рек представляет определенный научный и практический интерес.

На фиг. 1 приводятся колебания годовых стоков для ряда основных водотоков, причем использованы данные по двум створам на каждой реке.

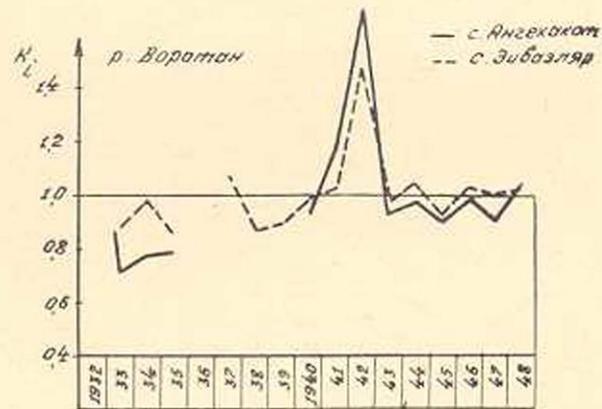
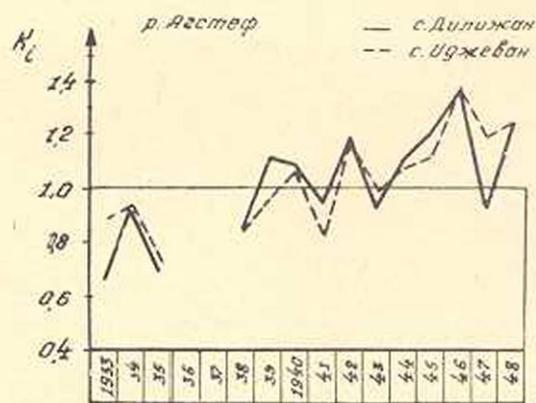
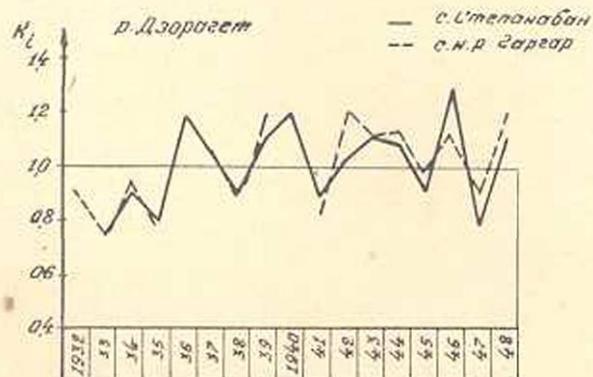
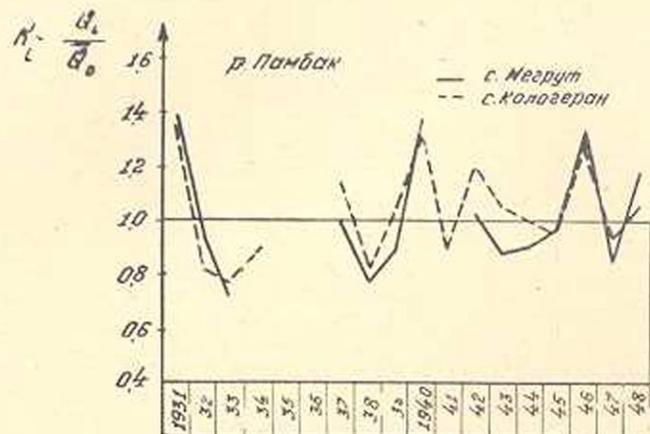
Головые стоки на графике представлены модульным коэффициентом

$$K_i = \frac{Q_i}{Q_0}, \quad (1)$$

который исчисляется как отношение суммарного годового стока  $Q_i$  к норме стока  $Q_0$ .

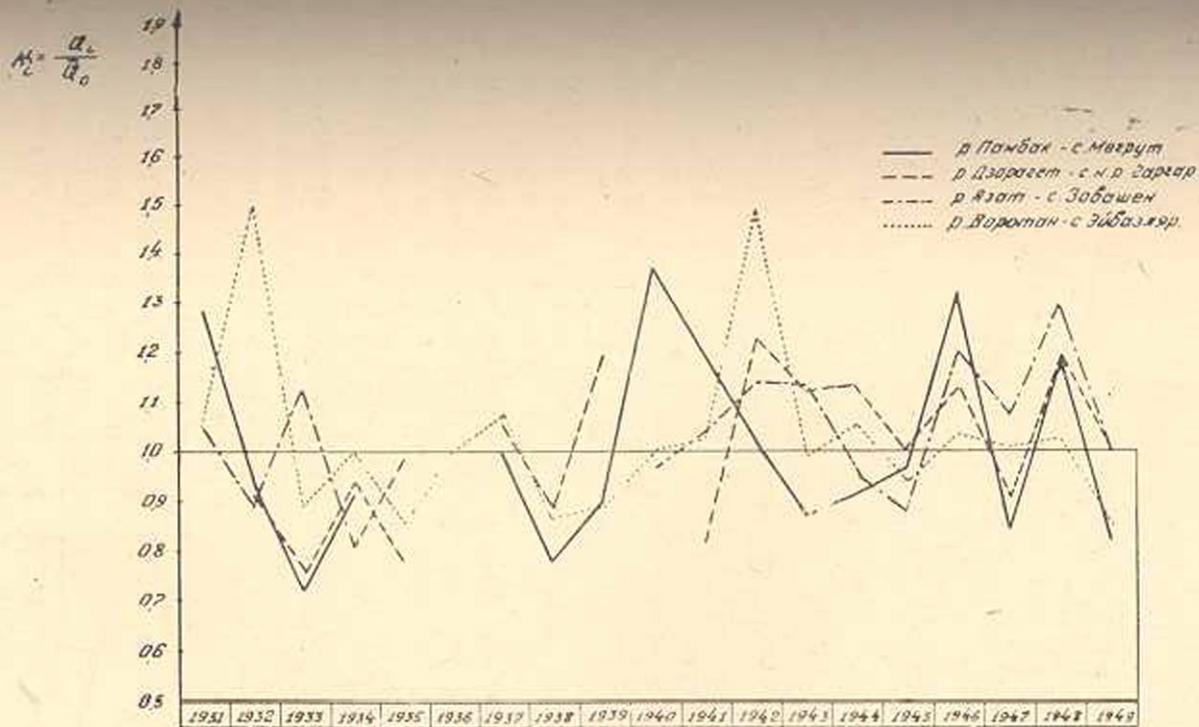
Как видно из фиг. 1, в пределах одного бассейна по длине реки в большинстве случаев имеет место полная синхронность водности, несмотря на то, что модуль стока, вариации стока и амплитуды колебаний стока меняются в зависимости от высоты створа.

На фиг. 2 изображена хронологическая многолетняя последовательность величин водности некоторых рек Армянской ССР, расположенных в различных физико-географических условиях.



Фиг. 1. Синхронность стоков в разных створах реки.

2004



год

Фиг. 2. Хронологический многолетний ход в водности некоторых рек Армянской ССР.

Из фиг. 2 можно сделать вывод, что в стоках рек Армении наблюдаются явления группирования маловодных или многоводных лет, причем каждая из таких групп охватывает промежуток времени в 8—10 лет.

Маловодные годы при водности ниже 90%, а многоводные—выше 110%, имеют среднюю непрерывную продолжительность в 4—5 лет.

Аналогичную картину группирования маловодных и многоводных лет отмечает Д. Л. Соколовский [1] для рек Урала, и В. Л. Шульц [6] для рек Средней Азии.

Фиг. 2 показывает также (хотя и не особенно строго выдержанную) синхронность в изменчивостях стока разных рек в пределах каждого года. Недостаточно полная синхронность объясняется видимому различием в микро-климатах районов Армянской ССР.

Видно резкое различие в амплитудах колебаний стоков разных рек, в связи с чем коэффициент вариации годового стока ( $C_v$ ) также колеблется в значительных пределах—от 0,08 до 0,40.

Отмечая чередование групп маловодных и многоводных лет, можно констатировать, что второе из двух рассмотренных десятилетий сильно отличается от первого своей многоводностью. Так, например, суммарный сток нескольких рек (см. фиг. 2) за первое десятилетие составляет 85% от средней многолетней суммы, а за второе десятилетие—115%.

Последнюю цифру нужно считать несколько заниженной, учитывая, что в последние годы сравнительно увеличивался отбор воды водопользователями из рассматриваемых рек.

Объяснение причин такого изменения годовых стоков рек возможно только на основе синоптического анализа атмосферной циркуляции. При этом должна быть рассмотрена сравнительно обширная территория.

Как указывалось выше, Армянская энергетическая система включает в себя несколько каскадов гидроэлектростанций. Некоторые из них будут работать на незарегулированном стоке рек. По этой причине мощность и выработка станций должны быть переменными и меняться по дням, сезонам и годам.

При наличии естественного водохранилища в виде оз. Севан становится возможным, кроме обеспечения орошаемых территорий водами этого озера, осуществлять сезонное и многолетнее регулирование ГЭС, работающих на переменном естественном стоке водотоков, не входящих в Севан-Разданскую систему.

Отсюда ясно, что не только важно выявить хронологическую последовательность и синхронность годовых стоков, но и изучить изменения во внутригодовом распределении стока.

Необходимо отметить, что гидрографы рек Армянской ССР являются однокатными (с пиком весной) и в основном отличаются

друг от друга только степенью зарегулированности расходов внутри года.

Для определения хронологического хода изменений во внутригодовом распределении стока использованы кривые обеспеченности суточных расходов, которые показывают достаточную устойчивость и служат объективной характеристикой внутригодового распределения стока [4, 5].

Гидростанции, работающие на незарегулированном стоке, могут использовать ту часть стока, которая ограничена пропускной способностью дериваций, иначе говоря, возможная выработка ГЭС будет соответствовать площади кривой обеспеченности среднесуточных расходов, ограниченной расчетным расходом гидростанции.

Исходя из этого, в качестве числового выражения, определяющего степень полноты или, что то же, степень неравномерности гидрографа, принят коэффициент естественной зарегулированности стока ( $\bar{\varphi}_0$ ), который соответствует площади, ограниченной кривой обеспеченности суточных расходов по среднему году до средне-многолетнего расхода, или площади гидрографа до той же высоты.

Если кривую обеспеченности выразить в относительных величинах, то:

$$\bar{\varphi}_0 = \int_0^{1,0} pdk, \quad (2)$$

где  $p$ —обеспеченность в долях единицы (года),

$k$ —отношение данного расхода к среднему многолетнему [2].

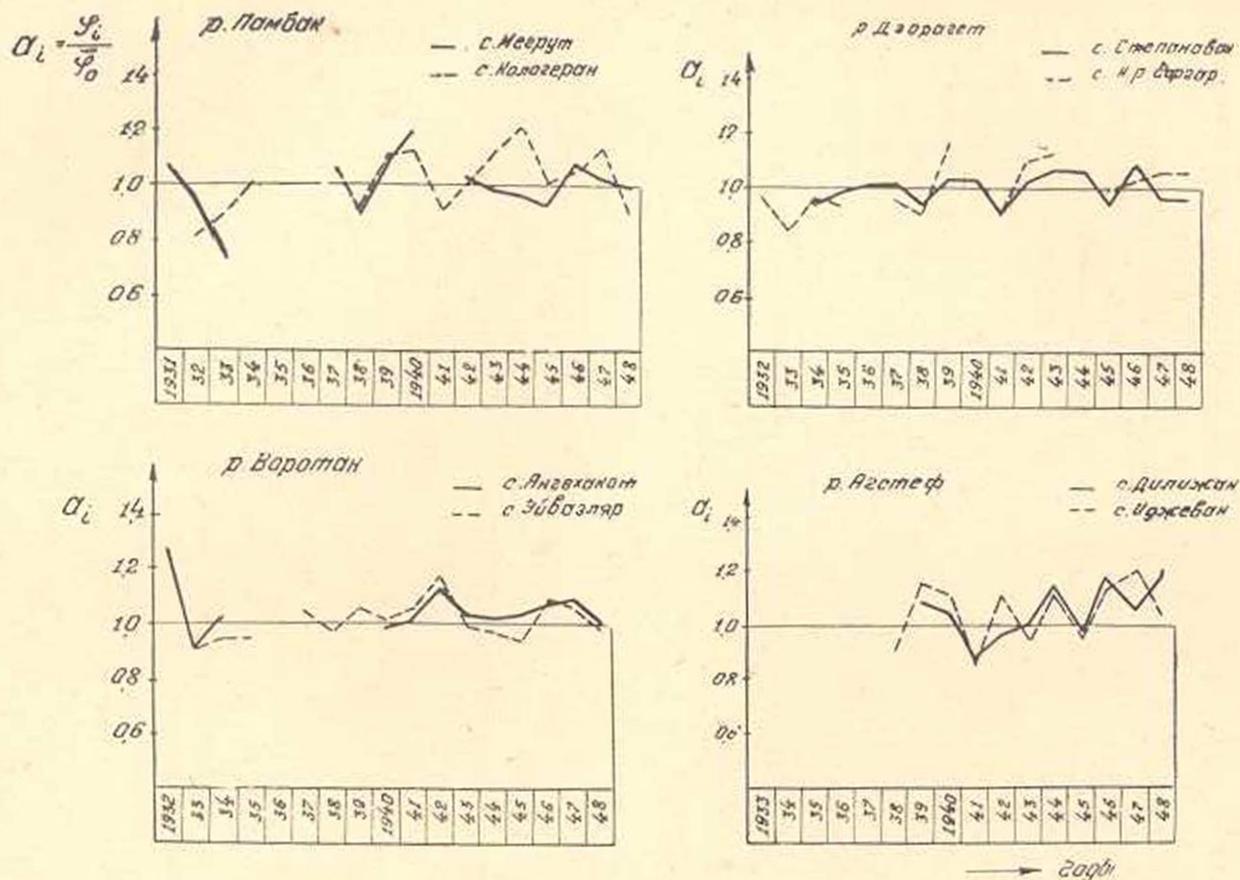
Исследование показало, что для 20 основных рек Армянской ССР коэффициент естественной зарегулированности колеблется в пределах от 0,45 до 0,85. Этот коэффициент показывает—какую долю среднего стока составляет сток, ограниченный на кривой обеспеченности средне-многолетним расходом.

Средне-многолетний расход при  $k = 1,0$  по средней кривой обеспеченности расходов имеет продолжительность, соответствующую 0,22—0,30 года, и в среднем по Армянской ССР—0,25 года.

На фиг. 3 приведены изменения в двух створах тех частей годовых стоков некоторых рек Армянской ССР, которые на кривых обеспеченности ограничены средне-многолетним расходом.

Эти части стока характеризуются модульными коэффициентами  $a_i = \frac{\varphi_i}{\bar{\varphi}_0}$ , которые представляют из себя отношения годовых коэффициентов зарегулированности  $\varphi_i$  для разных лет к среднему коэффициенту зарегулированности  $\bar{\varphi}_0$  за многолетие.

Из фиг. 3 следует, что в пределах одного и того же речного бассейна синхронность значений  $a_i$  для нескольких створов ослабляется, потому что на формирование вышеуказанной части стока ока-



Фиг. 3. Синхронность коэффициентов в естественной зарегулированности стоков в двух створах реки.

зывают большое влияние местные физико-географические условия, которые неодинаковы даже в пределах одного и того же бассейна.

На фиг. 4 приведена хронологическая многолетняя изменчивость модульных коэффициентов  $a_i$  для некоторых рек Армянской ССР, бассейны которых расположены в различных физико-географических условиях. Можно сделать вывод, что по характеризуемой коэффициентом  $a_i$  части стока группировки маловодных и многоводных лет охватывают сравнительно небольшие периоды. Имеет место цикличность в характере колебаний значений  $a_i$ , а синхронность изменений этих коэффициентов для различных водотоков исчезает.

Исследования показали, что имеется различие в амплитудах колебаний значений  $a_i$  для разных рек, в связи с чем коэффициент вариации доли стока ( $C_{V_2}$ ) колеблется в пределах от 0,06 до 0,22. Изменчивость величины  $\varphi_i$ , характеризуемая коэффициентом вариации ( $C_{V_2}$ ), меньше коэффициента вариации годовых стоков ( $C_V$ ).

Таким образом, при пропускной способности деривации ГЭС, равной средне-многолетнему расходу, используемые части стока имеют меньшую изменчивость, чем для годовых стоков. Эта изменчивость уменьшается с увеличением процента обеспеченности расчетного расхода и при минимальном расходе доходит до нуля. С другой стороны, с уменьшением этого процента увеличивается изменчивость используемой части стока и при максимальном расчетном расходе она доходит до изменчивости годовых стоков.

При совместной работе гидроэлектрических станций или каскадов, расположенных на разных водотоках и использующих естественный сток рек, большое значение имеет как сочетаются годовые выработки этих ГЭС и каков размер требуемой от системы регулирующей энергии за весь период регулирования.

Как указывалось выше, между отдельными водотоками синхронность значений  $a_i$  не наблюдается, в силу чего при суммировании используемой части стоков при  $k = 1,0$  изменчивость суммы уменьшится в зависимости от изменчивости синхронности и размера суммируемых стоков рек.

При этом модульный коэффициент суммы будет равен:

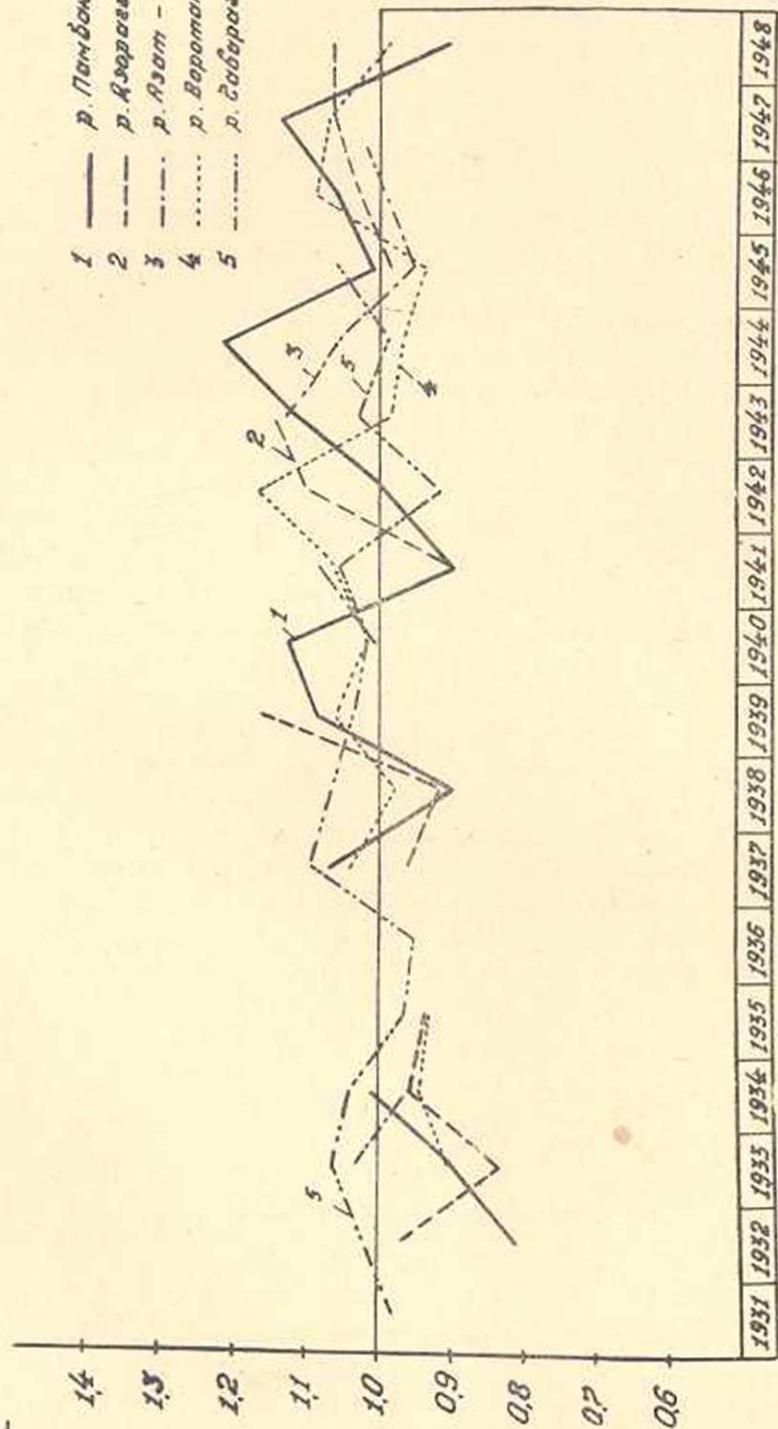
$$S_i = \frac{\bar{Q}_1 \varphi_{i1} + \bar{Q}_2 \varphi_{i2} + \bar{Q}_3 \varphi_{i3} + \dots}{\bar{Q}_1 \varphi_{01} + \bar{Q}_2 \varphi_{02} + \bar{Q}_3 \varphi_{03} + \dots} = \frac{\bar{Q}_1 a_{i1} \varphi_{01} + \bar{Q}_2 a_{i2} \varphi_{02} + \bar{Q}_3 a_{i3} \varphi_{03} + \dots}{\bar{Q}_1 \varphi_{01} + \bar{Q}_2 \varphi_{02} + \bar{Q}_3 \varphi_{03} + \dots} \quad (3)$$

где  $\bar{Q}_1$ ;  $\bar{Q}_2$ ;  $\bar{Q}_3$  — средне-многолетние расходы по каждому водотоку,

$\varphi_{i1}$ ,  $\varphi_{i2}$ ,  $\varphi_{i3}$  — коэффициенты зарегулированности в годовом разрезе,

$\varphi_{01}$ ,  $\varphi_{02}$ ,  $\varphi_{03}$  — коэффициенты зарегулированности по среднему году.

$$\eta_i = \frac{P_i}{P_0}$$



год

Фиг. 4. Хронологический многолетний ход коэффициентов естественной регулирующей способности стоков для нескольких рек Армянской ССР

$$a_{1_1} = \frac{\varphi_{1_1}}{\varphi_{0_1}}; \quad a_{1_2} = \frac{\varphi_{1_2}}{\varphi_{0_2}}; \quad a_{1_3} = \frac{\varphi_{1_3}}{\varphi_{0_3}} \quad (4)$$

В общем случае коэффициент вариации сумм стоков будет выражаться формулой:

$$C_{V_{\text{ср}}}^2 = \frac{b^2 C_{V_1}^2 + 2br C_{V_1} \cdot C_{V_2} + C_{V_2}^2}{(1+b)^2} \quad (5)$$

$$\text{где } C_{V_1} = \sqrt{\frac{\Sigma(k_1-1)^2}{n-1}}; \quad C_{V_2} = \sqrt{\frac{\Sigma(k_2-1)^2}{n-1}}; \quad C_{V_{\text{ср}}} = \sqrt{\frac{\Sigma(k_{\text{ср}}-1)^2}{n-1}}$$

$k_1$  и  $k_2$  — модульные коэффициенты годовых стоков рек,  
 $n$  — число лет наблюдений,

$$k_{\text{ср}} = \frac{bk_1 + k_2}{1+b}$$

$b = \frac{Q_1}{Q_2}$  представляет отношение средне-многолетних стоков,

$r$  — коэффициент корреляции (связи) между стоками [3], который определяется формулой

$$r = \frac{\Sigma(k_1-1)(k_2-1)}{(n-1) C_{V_1} \cdot C_{V_2}} \quad (6)$$

Рассмотрев частные и крайние случаи формулы (5), можно получить, что для рек, имеющих одинаковые коэффициенты вариации и полную синхронность в ходе стоков, при одинаковой водности их, коэффициент вариации суммы стоков будет тем же самым.

При полной синхронности стоков и одинаковой водности двух рек коэффициент вариации суммарного стока обеих рек будет:

$$C_{V_{\text{ср}}} = \frac{C_{V_1} + C_{V_2}}{2} \quad (7)$$

Условия полной синхронности стоков следующие:

$$\frac{k_{1_1} - 1}{k_{1_2} - 1} = m,$$

где  $m$  — постоянное число.

Это означает, что коэффициент корреляции между стоками этих двух рек  $r = 1,0$ .

При разной водности двух рассмотренных рек

$$C_{V_{\text{ср}}} = \frac{bC_{V_1} + C_{V_2}}{1+b} \quad (8)$$

При асинхронности стоков и при одинаковой водности рек

$$C_{v_{cp}}^2 = \frac{C_{v_1}^2 + C_{v_2}^2}{4} \quad (9)$$

Условие асинхронности  $r = 0$ , т. е. связи между стоками двух рек не существует.

При асинхронности и разной водности рек

$$C_{v_{cp}}^2 = \frac{b^2 C_{v_1}^2 + C_{v_2}^2}{(1+b)^2} \quad (10)$$

При полной антисинхронности стоков и при одинаковой водности рек

$$C_{v_{cp}} = \pm \frac{C_{v_2} - C_{v_1}}{2} \quad (11)$$

Условие полной антисинхронности (обратная связь) будет:

$$\frac{k_1 - 1}{k_2 - 1} = -m, \text{ т. е. при коэффициенте корреляции } r = -1,0.$$

Если же водность рек при этом различна, то

$$C_{v_{cp}} = \pm \frac{C_{v_2} - b C_{v_1}}{1+b} \quad (12)$$

Из последней формулы можно вывести условие, при котором  $C_{v_{cp}}$  будет равно нулю, т. е.

$$\pm \frac{C_{v_2} - b C_{v_1}}{1+b} = 0.$$

Действительно, так как

$$C_{v_2} - b C_{v_1} = 0, \text{ то } \frac{C_{v_1}}{C_{v_2}} = \frac{1}{b}, \quad (13)$$

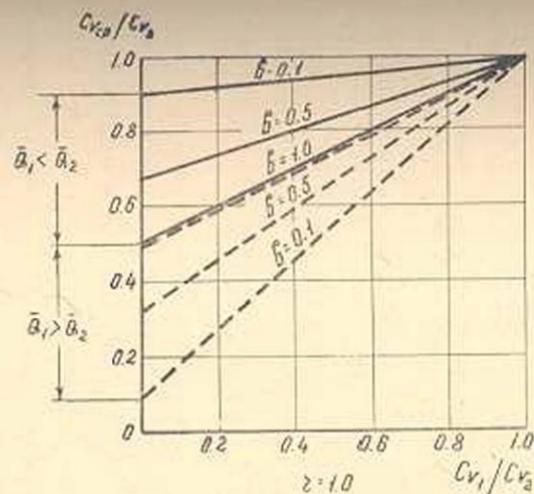
что указывает на то, что  $C_{v_{cp}}$  может равняться нулю, если в условиях полной антисинхронности стоков отношение коэффициентов вариации двух рассматриваемых рек обратно пропорционально отношению средней водности этих рек.

Всякое отклонение от этого условия укажет на степень синхронности стоков рассматриваемых рек.

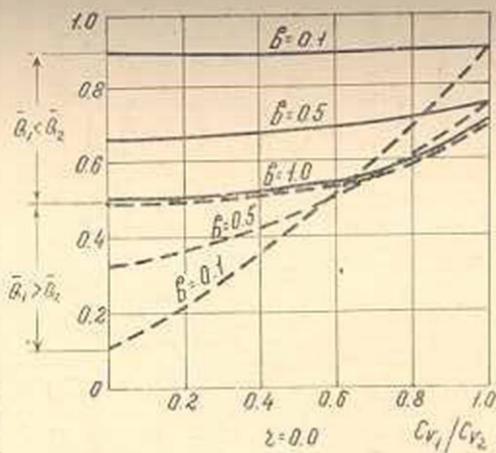
Из фиг. 5 можно получить значение  $C_{v_{cp}}$  для двух водотоков при разных соотношениях их стоков (разное  $b$ ) и разных значениях  $C_{v_1}/C_{v_2}$  для трех предельных случаев: при полной синхронности стоков, при асинхронности стоков и при полной антисинхронности их.

В реальных условиях будем иметь промежуточные значения указанных выше случаев.

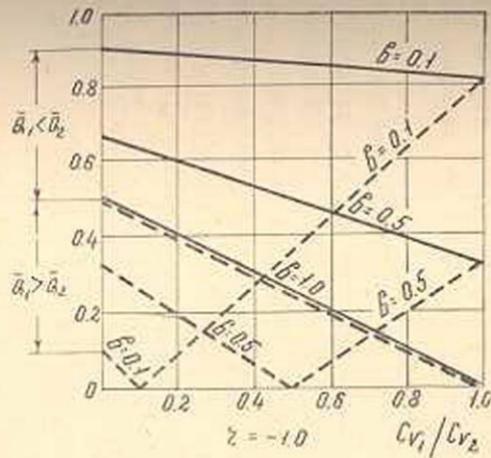
Вопрос изучения многолетнего хода величин выработок в энергетической системе становится особенно актуальным при объединении энергосистем. При этом большое практическое значение имеет вопрос чередования годовых выработок нескольких систем, а также



а) полная синхронность.



б) асинхронность.



в) полная антисинхронность (обратная связь).

Фиг. 5. Графики для определения коэффициента вариации суммы ( $Cv_{\Sigma}$ ) стоков двух рек.

При условии:  $Cv_1 < Cv_2$ ,  $b = \frac{Q_1}{Q_2}$ , когда  $\bar{Q}_1 < \bar{Q}_2$  и  $b = \frac{Q_2}{Q_1}$ , когда  $\bar{Q}_1 > \bar{Q}_2$ .

вопрос о том, как меняются требования к многолетнему регулированию. При этом необходимо от водности перейти к выработке электроэнергии, т. е. учитывать и влияние напоров ГЭС, каковые меняются в больших пределах.

Режим сезонных ГЭС при любом развитии энергетического куста не меняется, а режим регулирующего каскада меняется в зависимости от того, какие регулируемые (сезонные) станции на данном этапе войдут в общий энергетический куст.

Для выяснения синхронности и цикличности в колебаниях выработки ГЭС Армянской энергетической системы определены возможные годовые выработки, под которыми подразумевается выработка электроэнергии в году, подсчитанная с учетом графика обеспеченности расходов, пропускной способности деривации и турбин.

Годовая выработка подсчитана по формуле

$$W_i = \bar{Q}_0 \alpha_i \Delta W, \quad (14)$$

где  $\bar{Q}_0$  — средне-многолетний сток для данной реки в млн. м<sup>3</sup>,  $\alpha_i$  — коэффициент использования стока для каждого года в пределах расчетного расхода деривации<sup>1</sup> (с учетом отбора воды различными водопользователями выше головного сооружения ГЭС),

$\Delta W$  — удельный коэффициент выработки в квтч/м<sup>3</sup>.

Исследование многолетнего хода годовых выработок ГЭС и каскадов Армянской гидроэнергетической системы показало, что при вводе в систему новых незарегулированных ГЭС или каскадов вариация годовых выработок регулируемого куста уменьшается (в зависимости от вариации выработок энергии и удельного веса данной ГЭС или данного каскада в общей системе, а также от степени синхронности выработки новой ГЭС или каскада с выработкой системы). Тем самым уменьшается и требование этого куста к многолетнему регулированию от регулирующих ГЭС или каскадов.

Так, например, при изолированной работе каскадов на двух реках Армении коэффициенты вариации годовых выработок электроэнергии имеют значения 0,045 и 0,080. При совместной работе этих же каскадов с коэффициентом корреляции  $r = -0,5$ ,  $C_{\text{вер}}$  получается — 0,045, при отношении средне-многолетних выработок  $b = 0,38$  (см. фиг. 6).

При совместной работе всех каскадов ГЭС Армении коэффициент вариации выработок падает до 0,040, несмотря на то, что коэффициент вариации выработок рассматриваемых каскадов колеблется в пределах 0,030—0,150.

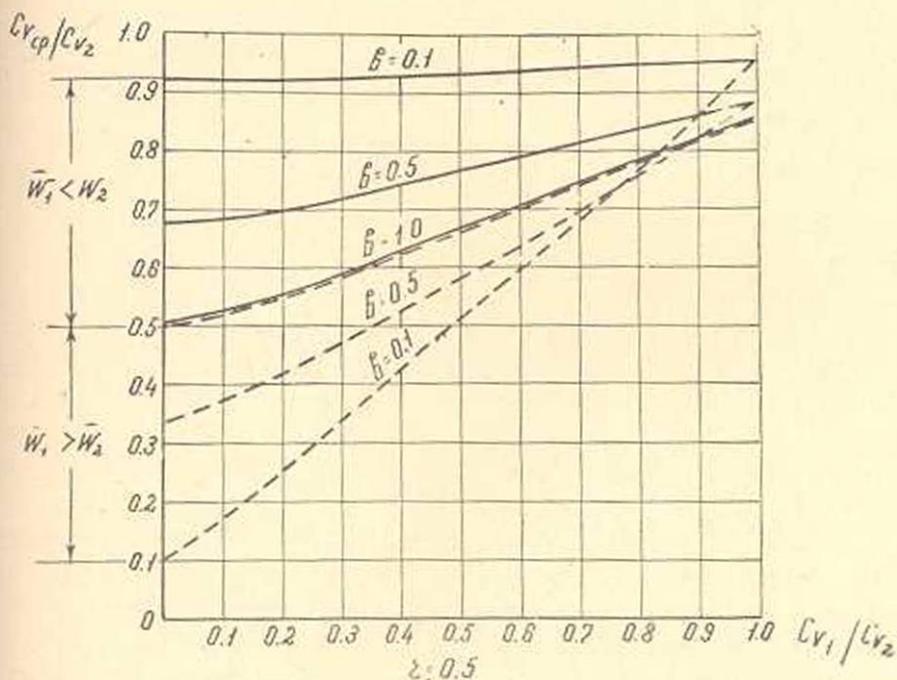
На фиг. 7 показано относительное отклонение годовых выработок от средней многолетней величины для рассмотренной системы.

При этом годовые выработки заменены модульными коэффициентами, получаемыми из соотношения:

<sup>1</sup> При пропускной способности деривации, равной средне-многолетнему расходу ( $k = 1,0$ )  $\alpha_i = \varphi_i$ .

$$S_{\text{выр}} = \frac{W_{i_1} + W_{i_2} + W_{i_3} + \dots}{W_1 + W_2 + W_3 + \dots} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{\sum_{i=1}^n W} \quad (15)$$

где  $W_{i_1}, W_{i_2}, W_{i_3}$  — соответствующие годовые выработки отдельных ГЭС или каскадов в млн. *квтч.*, а  $\bar{W}_1, \bar{W}_2, \bar{W}_3$  — средние многолетние выработки в млн. *квтч.*



Фиг. 6. Коэффициент вариации ( $Cv_{cp}$ ) суммы годовых выработок двух каскадов.

Фиг. 7 показывает, что при совместной работе многих ГЭС и каскадов можно достигнуть результатов, при которых уменьшается отрицательное влияние естественных условий в чередовании водности рек и сокращаются амплитуды колебаний выработок.

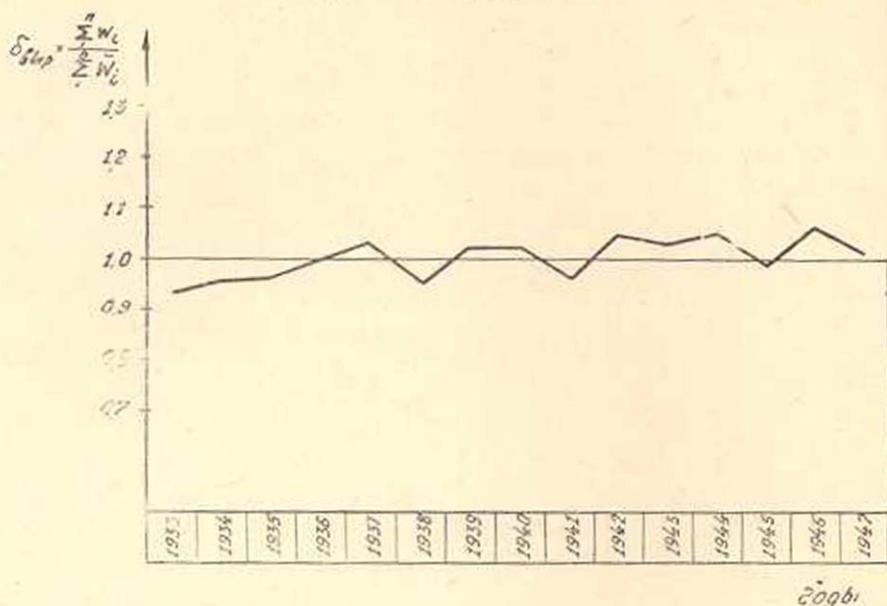
На все это, как видно из вышеуказанного, влияют:

а) независимость используемой части годового стока реки на гидростанциях от суммарного стока реки для данного года, б) различие в напорах ГЭС, в) степень асинхронности стоков в различных пунктах одной и той же реки.

В результате получается, что отрицательное влияние на колебания выработок ГЭС периодичности и синхронности годовых стоков рек сильно ослабляется для годовых суммарных выработок гидро-системы, состоящей из сезонных ГЭС. Так, для Армянской энергосистемы суммарная выработка незарегулированных каскадов отклоняется от средней на 5–6%, с продолжительностью в 2–3 года

(см. фиг. 7), в то время как отклонения годовых стоков от среднего многолетнего достигают 10—15% при продолжительности такого отклонения в 8—10 лет.

Таким образом, энергетическая система, состоящая из сезонных



Фиг. 7. Относительное отклонение годовых выработок от средней многолетней величины.

ГЭС, при совместной работе их дает значительно меньшие колебания в выработках, чем это имеет место для годовых стоков рек. Одновременно, сравнивая колебания в выработках системы с такими для отдельных ГЭС или отдельных каскадов ГЭС, можно считать на основании предыдущего доказанным, что энергосистема сезонных ГЭС, как правило, работает с большей устойчивостью и предъявляет меньше требований к общей системе в отношении многолетнего регулирования, чем отдельные гидростанции или их каскады.

Водно-энергетический институт  
Академии наук Армянской ССР

Поступило 6 VII 1951

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соколовский Д. Л.—Водные ресурсы рек промышленного Урала и методика их расчетов. Труды НИУ ГМС, серия IV, вып. 7. Гидрометеониздат, Л., 1943.
2. Соколовский Д. Л.—Гидрологические и водохозяйственные расчеты при проектировании малых ГЭС. Труды НИУ ГМС СССР, сер. IV, вып. 36. Гидрометеониздат, Л., 1946.
3. Поляков Б. В.—Гидрологический анализ и расчеты. Гидрометеониздат, Л., 1946.

4. *Елпидинский А. Я.*—Кривые обеспеченности сточных расходов и их применение к расчетам энергоресурсов рек. Труды ГГИ, вып. 9 (63). Гидрометеониздат, Л., 1948.
5. *Андрейков В. Г.*—Построение кривых обеспеченности сточных расходов и кривых использования стока при отсутствии наблюдений. Труды ГГИ, вып. 14 (68). Гидрометиздат, Л., 1949.
6. *Шульц В. Л.*—Реки Средней Азии, Гос. издательство географической литературы, М., 1949.

Մ. Ս. Քարգոսյան

ԳԵՏԵՐԻ ՀՈՍՔԻ ՑԻԿԼԱՅԻՆ ԸՆԹԱՑՔԸ ԵՎ ՆՐԱ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ  
ԷԼԵԿՏՐՈՆԵՐԳԻԱՅԻ ԱՐՏԱԴՐԱՆՔԻ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՎՐԱ

Ա Մ ♦ Ո ♦ Ա Ռ Մ

Հոդվածում դիտվում է ջրատակավ և ջրատառ տարիների հերթագայության հարցը, բնական հոսքով աշխատող հիդրոկայաններից կազմված հիդրոսխեմայի ջրատնտեսական հաշվարկումները հշտելու նպատակով:

Հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ Հայաստանի գետերի տարեկան հոսքի բազմամյա շարքում նկատվում են ջրատակավ և ջրատառ տարիների խմբավորումներ: Բացի այդ ինչպես մի գետի տարբեր հատվածների, այնպես էլ տարբեր գետերի հոսքերի միջև նկատվում է սինխրոնիկոթյուն:

Մյուս կողմից հոսքի տարամիջյան բաշխման և բնական կանոնափոխվածության հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ այդ բաշխման մեջ նկատվում է ցիկլային բնթացք, իսկ սինխրոնիկոթյունը մոդուլային զործակիցների միջև վերանում է:

Աշխատության մեջ տրվում է անալիտիկ ֆորմուլաներ և կորեր երկու գետերի հոսքերի գումարի վարիացիայի զործակցի որոշման համար, կազմված սինխրոնիկոթյան առաինճանից և առանձին գետերի հոսքերի վարիացիայի զործակցից:

Հայտարարված օրինաչափությունները և բնութագրերը օգտագործված են կոնկրետ հիդրոկայանների կասկադների աշխատանքի անալիզի համար, որոշված է չկանոնափոխված սխեմայի գումարային տարեկան էներգիայի փոփոխականությունը և ստացված են տվյալներ սխեմայի բազմամյա կանոնափոխման անհրաժեշտ պահանջը որոշելու համար:

ВУЛКАНОЛОГИЯ

А. И. Месропян

О генезисе четвертичных туфов Армении  
(Еревано-ленинаканский тип туфов)

Краткие сведения о четвертичных туфах Армении

Общие сведения

Четвертичные вулканические туфы играют значительную роль среди образований, слагающих территорию Армянской ССР. Несмотря на то, что происхождением их занимался ряд исследователей, однако, до настоящего времени нельзя считать окончательно выясненными физико-химические условия, при которых образовались туфы.

Генезис вулканических туфов Армении в своих трудах касался ряд ученых: Г. Абиш [1], П. И. Лебедев [14], В. В. Залесский и В. П. Петров [11], К. Н. Паффенгольц [19] и др. В последние годы академик А. И. Заварицкий, изучая четвертичный вулканизм Армении, опубликовал три статьи [8, 9, 10], посвященные в основном туфам Армении и параллелизации их с аналогичными породами, известными за пределами Советского Союза.

Судя по описаниям и иллюстрациям А. Н. Заварицкого и других исследователей, эти зарубежные породы по составу и по структуре действительно напоминают туфы Армении; в частности, подобные образования четвертичного возраста имеют широкое развитие в Италии—серые туфы Кампани и Флегрейских полей. А. Н. Заварицкий [9] считает возможным существование плейстоценовых туфов и у нас на Камчатке, в основании некоторых современных вулканов.

В результате систематизации и изучения данных геолого-разведочных и геолого-исследовательских работ по туфам, проведенных в последние годы рядом организаций и нами в республике, накопился достаточно полный материал, позволяющий нам в настоящей статье изложить основные положения и предварительные выводы о физико-химических условиях образования вулканических туфов Армении.

За пределами Советского Союза вулканические туфы особенно детально изучались в Италии—Цамбонини, в Катмаи (Аляске)—Фенцером, и в Новой Зеландии—Маршаллом [13]. Последний аналогичные туфовые образования называет игнимбритами, что в переводе с греческого означает «огненный ливень» (игнис—огонь, имбер—ливень).

Исследование четвертичных туфов Армении позволило академику А. Н. Заварицкому отнести их также к игнимбрикам.

Армения является типичной областью недавней интенсивной вулканической деятельности, свидетелями чего на ее территории являются многочисленные потухшие вулканы. Значительная часть Армении покрыта материалом выбросов из центральных вулканов и трещинных излияний. Эти образования представлены различными лавами и вулканическими туфами. Четвертичные туфы, как увидим ниже, занимали в прошлом почти одну треть территории Армении.

Общее количество туфового материала, выброшенного в четвертичное время, составляет по нашим вычислениям около 100 км<sup>3</sup>. В эту цифру не входит часть вулканического пепла, который в подобных случаях извергается в огромном количестве и уносится далеко воздушными течениями в виде вулканической пыли, далее образуя на дне больших подоемов выдержанные пласты пепла. В результате последующей эрозии сохранилась лишь часть некогда сплошного покрова туфов. Сейчас вулканические туфы образуют, наряду с отдельными останцами, довольно обширные поля, измеряемые сотнями квадратных километров (Талинское, Аштаракское, Шамирамское, Егвардское и др.). Четвертичные туфы обнаружены также в районах с. Гарни. Они имеются недалеко от с. Севан, в районе с. Амасии и по ту сторону р. Ахурян.

В народном хозяйстве нашей республики туфы играют важную роль и, благодаря своим прекрасным физико-механическим качествам, имеют широкое применение в строительстве.

Покровы четвертичных вулканических туфов Армении, имея палеогеновый возраст, перекрывают самые различные образования от палеозоя до четвертичного времени.

Обладая в общем глыбовой отдельностью, туфы Армении лишь иногда характеризуются столбчатой отдельностью (у с. Аштарак, выше с. Макарашен, в левобережьи р. Карачобан (правый приток р. Памбак), в Кишлаге, Капском ущелье и т. д.).

#### Разновидности четвертичных туфов Армении

Несмотря на самые разнообразные оттенки, четвертичные туфы Армении предыдущими исследователями [1, 11, 14, 19] по окраске, по своему строению, химическому составу и другим особенностям морфологически подразделялись на три разновидности.

Наибольшей распространенностью пользуется разновидность, известная под названием ереванско-ленинканского туфа, характеризующаяся темносерой, темнокоричневой и, чаще всего, черной окрасками. Их часто называют черными туфами.

Эти туфы в верхней своей части постепенно приобретают красноватый оттенок и ближе к кровле толщи (на 0,5—0,9 м) переходят в красные, оранжево-красные или кирпично-красные туфы.

Вторая разновидность туфов Армении известна под названием «артикской». Артикские туфы отличаются фиолетовым и розово-пепельно-фиолетовым цветом. Они в верхней своей части также переходят в

красные разности («красная покрывка») мощностью до 1 м и в них насчитывается до 50 отдельных оттенков.

Наконец, к третьей разновидности относятся красно-черные туфы, очковые, пламенные и т. д. Имеются также желтые туфы (с. Такия), но они имеют весьма ограниченное распространение.

Перечисленные туфы нигде в Армении не образуют непрерывного, последовательного разреза, где можно было бы разрешить вопрос о взаимном расположении туфов различного типа. Однако в ряде случаев (Кипчагский овраг, Аштарак—ущелье р. Касах и т. д.) черные туфы сверху постепенно переходят в арктические (Арич) и в красно-черные (Аштарак).

Окраска различных по цвету туфов вызвана изменением окраски стекловатой основной массы породы различными по качеству и количеству железистыми соединениями: коричнево-бурой в черно-серых туфах и желтой, золотисто-желтой, кирпично-красной, бледно-розовой и бледно-фиолетовой—в цветных красноватых разностях (в шлифах под микроскопом). Желтоватые и красноватые оттенки основной стекловатой массы красных туфов, как увидим ниже, являются главным образом следствием окисления пирокластического материала кислородом воздуха в верхнем слое выпавшей еще раскаленной массы. Эта окраска вызывается появлением в стекле глобулитов, т. е. мельчайших сферических телец, непрозрачных и состоящих, главным образом, из  $Fe_2O_3$ , вследствие перехода закисного железа в окисное.

#### Минералогический состав туфов

Минералогический состав туфов, независимо от их окраски, структуры и текстуры почти однороден. Породообразующими минералами являются: плагиоклаз, представленный обычно андезином, реже лабрадором или олигоклазом, моноклиный, а часто также ромбический пироксен в рудный минерал,—обычно представленный магнетитом. Из акцессорных минералов отмечается апатит. Кроме того в состав туфов входит в значительном количестве (от 50 до 80% и более) вулканическое стекло, окрашенное обычно в шлифах в различные оттенки бурого или желтого цвета, обломки пемзовидных—шлаковидных веществ и лав, а в арктических туфах часто и кристаллобит, микролиты и т. д.

Количественное соотношение между интрателлурическими минералами, обломками посторонних пород и вулканическим стеклом различное, но всегда с резким преобладанием последнего. Из перечисленных выше минералов плагиоклазы в вулканических туфах характеризуются в значительной степени своей деформированностью, раздробленностью и «изъеденностью» («корродированностью»).

Черные и в особенности туфы очкового типа заключают характерные стекловатые включения черной и коричневой окрасок, размером до 10 м и более. Они имеют сплюснуто-эллипсоидальную форму.

В Италии подобные образования, имеющие форму языка пламени,

называются «фьямме», которые под микроскопом часто обнаруживают сферолитовую кристаллизацию.

Аналогичным минералогическим составом, по описанию А. Н. Заварицкого [7], характеризуются также вулканические пеплы, выброшенные ныне действующей Ключевской сопкой на Камчатке. Этот пепел состоит из осколков прозрачного желтоватого или непрозрачного, но просвечивающего в краях бурого вулканического стекла. А. Н. Заварицкий объясняет бурю окраску непрозрачной разновидности изменением прозрачного стекла под окислительным влиянием атмосферы. В указанных пеплах имеются также свежие плагиоклазы (лабрадор) в виде призматических кристаллов и авгит.

По характеру лишь одних интрателлурических минералов туфов Армении можно судить о составе той первичной магмы, в которой выделялись эти минералы и находились в ней во взвешенном состоянии. Ассоциация минералов: андезин, моноклинические и ромбические пироксены, а также магнетит, позволяет предполагать, что исходная магма, из чего образовались туфы Армении, отвечала авгит-гиперстенному андезитовому и, может быть, андезито-базальтовому составу.

Отмеченная ассоциация минералов образовалась в глубоком магматическом очаге, в магме указанного состава. Это положение соответствует предположению А. Н. Заварицкого, считающего, что происхождение туфов обязано магматической (гравитационной) дифференциации единой андезито-базальтовой магмы [8].

#### Петрографическая характеристика

В петрографическом отношении туфы сревано-ленинаканского типа характеризуются типичной кластической, спутанно-волокнутой, «ажурно-пемзовой» и псевдопорфировой структурой. Текстура катакластическая. Основная масса стекловатая (пелловая), представленная обломками стекла, имеющими нередко характерную форму дужек, лунок или совершенно неправильных тонкопористых частиц, придающих под микроскопом породе своеобразный облик.

Артекские фиолетовые туфы характеризуются псевдопорфировой структурой и часто псевдофлюидальной текстурой стекловатой массы, что вызвано наличием в этих туфах вытянутых узких пустот. Иногда воздушных пустот в основной массе так много, что в шлифе под микроскопом получается своеобразная сетка пенисто-пористой массы (пемзовидная текстура), состоящей из «флюидально»-ориентированного пемзовидного материала или петлевидно-волокнутого стекла.

Туфы Армении отличаются своей значительной пористостью, чем обуславливается их небольшой объемный вес, вследствие чего они относятся к разряду лучших строительных материалов. Поры в туфах округлые, часто вытянутые, сплюснутые, но они не сообщаются друг с другом («слепые поры»). Наблюдаемая же сплюснутость пор, как и включений

в туфах («фиамме»), повидимому, обязана статической нагрузке вышележащих слоев, еще вязких в период отложения.

Преобладающими трещинами в четвертичных вулканических туфах Армении являются трещины выветривания. Они не проникают глубоко в породу и большей частью заполнены продуктами выветривания. Трещины отдельности отличаются незначительным просветом. Но в туфовых карьерах часто наблюдаются трещины с просветом до 5—7 см, они проходят до основания толщи туфов и заполнены перетертым туфовым материалом. Эти трещины, вероятно, сейсмического характера.

#### Химический состав

Работами П. И. Лебедева [14], П. П. Гамбаряна [2], К. Н. Паффенгольца [19], А. С. Гинсберга [3], А. Ф. Фиолетовой [23] и других исследователей химический состав вулканических туфов Армении изучен достаточно полно.

В таблице I приводится средний химический состав туфов по типичным анализам на основе наших исследований и данных ряда ученых [1, 2, 3, 11, 12, 19].

Таблица I

% содержания окислов.	Пламенный туф (2 тип. анализ)		Серо-черный туф (6 тип. анализ)		Красный туф (8 тип. анализ)		Артикский туф (6 тип. анализ)		Желтый туф (1 тип. анализ)
	Среднее	Колебание	Среднее	Колебание	Среднее	Колебание	Среднее	Колебание	
SiO <sub>2</sub>	62,95	± 1%	62,70	± 1%	62,09	± 1,5%	65,02	± 1%	65,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,80	± 0,5%	17,30	± 0,50%	17,41	± 1%	16,51	± 1%	15,33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,98	± 0,3%	1,80	± 0,5%	4,22	± 1%	2,73	± 1%	2,41
FeO	0,54		2,70	± 0,70%	0,99	± 0,70%	0,67	± 0,6%	0,43
MnO	0,09		0,05		0,16		0,30		0,06
MgO	1,12		0,95		1,08		1,50		1,50
CaO	2,14		2,95		3,36		2,49		1,79
TiO <sub>2</sub>	0,70		0,80		0,77		0,51		0,73
Na <sub>2</sub> O	4,90	± 0,3%	4,50		3,95	± 0,8%	4,81	± 0,5%	4,52
K <sub>2</sub> O	4,10	± 0,02%	3,55		3,80	± 0,8%	4,31	± 1%	3,65
H <sub>2</sub> O	2,80		2,20		3,47		0,42		2,51
п. п. п.	0,62		1,90		3,00		0,37		1,79

Если сравнить химический состав черных и занимающих их верхние слои красных туфов, то можно отметить, что они почти одинаковы.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что в черных туфах содержание закисного железа значительно больше, чем окисного; в красных же туфах железо присутствует преимущественно в окисном состоянии.

Содержание CaO не может характеризовать вулканические туфы, так как в цементах их верхних слоев карбонаты часто имеются в существенном количестве и связаны со вторичными процессами выветривания туфов.

Туфы арктического типа характеризуются почти постоянным содержанием  $\text{SiO}_2$ , равным около 65%. Они отличаются значительным содержанием окисного железа (по сравнению с закисным) и несколько большей щелочностью, чем туфы черные и красные.

Черные (и желтые) туфы отличаются от пепельно-фиолетовой арктической разновидности значительно большим содержанием воды. В то время, как содержание воды в туфах первого типа составляет 2,20—3,5%, в туфах арктического типа весовое содержание воды составляет около 0,40%, т. е. даже меньше, чем в обычных лавах.

Данные химических анализов туфов были нами пересчитаны по методу Заварицкого и на основании полученных параметров, по таблице Дэли, установлено, что черные туфы по составу соответствуют дацитам, а арктический туф — щелочным дацитам. Этот пересчет еще раз подтвердил существующее мнение, что химически все туфы весьма близки между собой и по составу соответствуют более кислой магме, чем можно было полагать по ассоциации находящихся в них интрателлурических минералов, указывающих на более основной андезитовый состав исходной магмы.

Таким образом, можно предполагать, что туфы обязаны своим происхождением первичной андезитовой магме, в которой выделялась отмеченная выше ассоциация интрателлурических минералов. Но непосредственно туфы связаны с верхней, более кислой, легкой и вязкой частью магмы [8], образовавшейся вследствие гравитационной дифференциации магмы андезитового состава.

Вулканические туфы можно рассматривать как обломочный материал из двух, химически разных, частей: более основных интрателлурических кристаллических, а также и стекловатых («фиамме») включений-псевдо-вкрапленников, и более кислого стекла и обломков пемзовидного вещества, химический состав которых, вероятно, отвечает трахиту.

В пламенных туфах\* содержание  $\text{SiO}_2$  — 61,39%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 13,60%. Тот же образец, освобожденный от фиамме, был подвергнут химическому анализу; в нем  $\text{SiO}_2$  оказалось 64,20% и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 16,55%.

В частности арктические туфы заключают в себе значительно большее количество стекла, чем ереванско-ленинканские; в них содержание  $\text{SiO}_2$  больше по сравнению со вторым типом.

#### Условия залегания

Наблюдением за условиями залегания и изучением состава черных туфов республики в различных районах установлена идентичность залегания состава и строения туфов независимо от места нахождения их. Постоянный состав, окраска, а также одинаковые мощность и возраст их дают основание полагать, что в период осаднения туфового материала вся северо-западная часть территории Армянской ССР была покрыта слоем пирокластического материала.

\* Образец № 25, коллекция А. А. Адамян, анализатор П. С. Лазаревич.

Значительная часть (более 4/5) первоначального туфового покрова была в последующем эродирована. Для характеристики размыва интересно отметить, что при шурфовке в Эларском участке, над черными туфами нами были обнаружены делювиальные отложения, состоящие из глин с различными по размеру обломками тех же черных или красных туфов. Такая же картина наблюдается в Кишлагте и в ряде других мест. Очевидно, здесь имелись благоприятные условия древнего рельефа, где делювиальные отложения с обломками туфа переносились с другого места и осаждались над уже уплотнившимися туфами, залегающими почти горизонтально.

Таким образом, в настоящее время сохранились лишь отдельные островки туфов преимущественно в равнинных частях древнего рельефа.

Для еревано-ленинканских вулканических туфов установлены многочисленные разновидности, отличающиеся друг от друга в основном своей раскраской.

Такие разновидности наблюдаются порой даже в пределах одного месторождения и одного карьера. Это явление изучено еще недостаточно и можно лишь предполагать, что оно связано не столько с различием природы исходного материала, сколько с отличием физико-химических условий, при которых происходило остывание и затвердевание уже отложившихся на поверхности земли горячих масс.

По условиям залегания артикские туфы, наоборот, образуют потоки и занимают овраги и лощины на склонах г. Арагац. Языки этих потоков изучены и закартированы различными исследователями (П. И. Лебедев, [14], А. А. Иванчин-Писаревым [12] и др.).

Артикские туфы окаймляют с запада массив г. Арагац, с севера на юг дугой почти в 180°, ширина полосы 12—14 км, длина—несколько десятков километров.

Кроме характерного фиолетового цвета артикские туфы отличаются от черных большей пористостью, меньшим объемным весом, звонкостью при ударе и другими свойствами. Стекловатая масса лучше раскристаллизована в их нижних слоях, где обнаруживаются микролиты, кристобалиты и т. д.

Черные туфы редко образуют столбчатую отдельность; в артикских же туфах этого явления вовсе не наблюдается.

Из приведенных выше данных вытекает, что, несмотря на некоторую общность состава, еревано-ленинканские и артикские разновидности туфов отличаются друг от друга химическим составом, окраской, геологическими условиями залегания и физико-механическими свойствами, указывающими, повидимому, на различные физико-химические условия их образования.

Перейдем к рассмотрению условий образования отдельных типов туфов.

В настоящей статье мы останавливаемся на генезисе лишь еревано-ленинканского типа туфов, как наиболее распространенного на терри-

тории Армянской ССР. Эти туфы получили широкое применение в городском и сельском строительстве в республике в качестве стенового материала. Они имеют значительное распространение в Приереванском, Аштаракском, Ленинканском, Кироваканском и других районах Армянской ССР. Вопрос о генезисе других типов туфа будет рассматриваться нами в отдельной статье.

## II. Еревано-ленинканский тип туфа

### Физико-географические условия образования

(О природе туфовых песков и прослое пемзовой мелочи над ними).

Для выяснения физико-географических условий, в которых протекало образование черных еревано-ленинканских туфов, весьма важно установить природу так называемых туфовых песков, которые в Армении очень часто залегают под черными туфами, отделяясь часто от них тонким пемзовым прослоем. Такие же туфовые пески, под плотными туфами различных возрастов, известны и за пределами Армении, в частности, на Сев. Кавказе, на Дальнем Востоке [17], в Японии (Такеда) [19] и т. д.

Залегание прослоя пемзы в несколько сантиметров наблюдается и под палеогеновыми пемзовыми туфами («туфо-пемзовыми аггломератами») в Сейфунском бассейне, в районе балок Козлинка, Кхож-куа Южного приморья [22]. Аналогичное явление имеет широкое распространение в четвертичных туфах и за пределами СССР (Нов. Зеландия, Калифорния и др. [10]). Пемзовые пески известны под туфами также третичного возраста и на Сев. Кавказе, в районе г. Нальчик и в других местах.

В Армении под черными туфами туфовые пески различной мощности известны в Приереванском, Октемберянском, Ленинканском, Кироваканском, Талинском и др. районах.

Мощный пласт туфовых песков в Араратской долине образует водоносный горизонт, который по своему характерному минералогическому составу легко отбивается в разрезах скважин.

Почти всегда над туфовыми песками (или пемзовой мелочью) наблюдается прослой (от 0,2 до 1,0 м) рыхлых туфов, постепенно кверху уплотняющихся и переходящих далее в нормальные плотные туфы. Там же, где отсутствуют туфовые пески, толща еревано-ленинканских туфов с самой подошвы начинается плотными разностями.

Прослой пемзы над туфовыми песками известен в разрезах Авана, Паракара, Собеташена, Еревана и др. Прослой пемзовой мелочи под туфами представляет явление весьма распространенное. Ряд наших и зарубежных исследователей занимался выяснением природы этого закономерного явления, однако, до последнего времени вопрос остался неразрешенным и, как отмечает А. Н. Заврицкий [9], «образование такой пемзовой подстилки под туфами и туфолавами еще недостаточно ясно» и требует дальнейшего изучения.

Путем исследования туфовых песков и пемзового прослоя над ними в полевых и лабораторных условиях нами установлена взаимосвязь этих образований с плотными сревано-ленинаканскими туфами; это обстоятельство вместе с тем характеризует палеогеографическую обстановку, в которой откладывались эти рыхлые породы.

Как показывают наши наблюдения, туфовые пески и прослой пемзы над ними в основании черных туфов приурочены обычно к участкам, занятым в прошлом неглубокими водоемами; действительно, эти рыхлые образования часто подстилаются озерно-речными галечниками или глинами и песками водного происхождения.

Граулометрический и минералогический анализы туфовых песков Советашенского и Кишлагского месторождений показали идентичность состава туфовых песков и вышележающей толщи туфа.

В нижеприведенной таблице 2 даются результаты анализа туфового песка, произведенного лабораторией петрографии и минералогии осадочных пород Института геологических наук АН Армянской ССР. Образец взят из нижней части карьера Советашенского месторождения туфа.

Таблица 2

Размер фракций в мм	> 1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	< 0,01
Содержание фракций в %	13,82	4,15	14,97	34,01	21,15	11,39

Тяжелая фракция в нем составляет 3,84% (размеры зерен от 0,25 до 0,01 мм) и она представлена в основном авгитом, гиперстеном и магнетитом; легкая фракция выражена вулканическим стеклом и плагиоклазом (андезином).

Анализ туфового песка, залегающего в карьере Кишлагского месторождения Кироваканского района под туфами, произведенный в той же лаборатории, показал наличие в его составе мелких призм авгита и гиперстена, различного размера зерен магнетита и плагиоклаза, вулканического стекла и одного зерна кварца. Из аксессуарных—обнаружен апатит. Во фракции > 1 мм обнаружены частицы шлаковидного вещества и обломки лав.

Обращает внимание отсутствие в этих песках легкого пемзовидного вещества, характерного для туфов; отсутствие его вызвано обстоятельствами, о которых будет сказано ниже.

Примерно такой же результат показывают анализы туфового песка из различных месторождений туфа Ленинаканского и других районов Армянской ССР.

Сравнивая туфовые пески с черными туфами, залегающими часто над ними, мы видим, что они характеризуются почти одинаковым минералогическим составом.

Химический состав этих пород, как показывает таблица 3, также сходен.

Таблица 3

SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	п. п. п.	Наименование породы
61,85	4,19	17,02	4,10	1,76	7,41	5,35 (и ост. окислы)	Туф. песок с горы Оугуглу
61,20	5,20	19,16	5,14	1,66	3,94	3,70	Туф. песок из Советашена
63,20	4,42	18,14	3,18	1,59	6,37	2,50	Черный туф из Советашена

Приведенные данные не оставляют сомнения в том, что черные туфы и туфовые пески в естественных условиях залегания являются продолжением друг друга. Эти образования органически и генетически связаны между собой и туфовые пески могут быть рассмотрены как песчаные разновидности черных туфов.

Судя по приведенным анализам и по содержанию более 50% фракции 0,25—0,01 мм, туфовые пески, а стало быть ереванско-ленинградские туфы, образованы главным образом из вулканического алеврита, с 10% вулканического пепла (целитовых частиц). Остальная часть туфов, по классификации А. Н. Заварицкого [7], состоит из псаммитовых частиц.

В свете приведенных данных можно представить условия образования туфовых песков, а стало быть и органически связанных с ними черных туфов.

Как указывалось выше, туфовые пески очень часто подстилаются озерно-речными отложениями: глинами, галечниками, песками и т. д., указывающими на возможность существования водоема тогда, когда откладывался продукт извержения—пирокластический материал.

Последний, представленный полувязкими вулканическими, стекловатыми частицами, раскаленными интрателлурическими минералами, обломками шлаковидного вещества и лав, пемзовыми частицами, попадая с воздуха в воду, остывал и постепенно переполнял неглубокие водоемы дезинтегрированными песками. В результате этого над дном, сложенным озерно-речными отложениями, накапливались слои туфового песка различной мощности.

Пемзовые частицы туфовых песков в бассейнах со стоячей водой, благодаря небольшому объемному весу, отсортировывались и вышывали на поверхность воды, образуя на воде плавающие пемзовые покровы, на подобие отсортированной плавающей пемзы, которая наблюдалась в Зондском проливе после извержения Кракатоа (1883 г.) и уносились далеко в Индийский океан.

Наблюдения показывают, что в древних речных долинах прослой

пемзы над туфовыми песками отсутствует (долина р. Памбак, Кишлагское туфовое месторождение и др.). Отсутствие пемзового прослоя в указанных условиях может быть объяснено тем, что при осаждении туфового материала отсортированная и всплывавшая пемзовая мелочь не сохранилась на поверхности воды и уносилась течением.

В озерах со стоячей водой туфовые пески, постепенно увеличиваясь в мощности, повидимому, доходили до пемзовых масс над водой, чем, вероятно, и объясняется часто наблюдаемое в обнажениях залегание прослоя пемзы над туфовыми песками.

Что же происходило с частицами, выпадавшими на поверхность земли или на пемзовые покровы, подстилаемые туфовыми песками в прежних водоемах?

В шлифах под микроскопом в черных туфах ясно видно спекание, сцепление отдельных мельчайших стекловатых частиц друг с другом, при отсутствии других цементирующих веществ в туфах. Несмотря на такое спекание, очертания частиц часто довольно ясно вырисовываются. Очевидно, после падения, основная масса пепловых частиц вулканического стекла, благодаря значительной своей температуре, находилась в той степени вязкости, когда при остывании стекловатые частицы, под влиянием охлаждения и давления вышележащих слоев, спекались и рыхлая масса вулканического материала превратилась в плотные черные туфы ереванско-ленинканского типа.

В таком именно виде нам представляется развитие хода явлений, в результате чего образовались плотные черные вулканические туфы, туфовые пески и прослой пемзы между ними.

Выше указывалось, что черные туфы в своей нижней части часто переходят в полурыхлые разности. Это явление наблюдается в особенности там, где под туфами залегают туфовые пески. В пределах древнего водного бассейна туфовый материал, повидимому, частично подвергся охлаждающему действию воды и образовавшихся паров ее в период отложения их над туфовыми песками; в этих условиях раскаленные частицы не могли полностью спекаться, в результате чего полуспекшийся туфовый материал возможно приобретал уже рыхловато-землистый вид.

Пирокластический материал, падавший и отложившийся в глубоких водных бассейнах, образовал сплошные толщи туфовых песков, мощные пласты которых и в настоящее время наблюдаются в разрезах ряда скважин Араратской долины, занятой, как известно, в четвертичное время озером.

Описанная органическая связь туфовых песков с ереванско-ленинканскими туфами бросает яркий свет вообще на физические условия и, в частности, на высокую температуру тех отложений пирокластического рыхлого материала, которые послужили исходным продуктом для покрытия значительных площадей в Армении ереванско-ленинканскими туфами.

Разнообразие в окраске туфов обязано главным образом различным условиям физико-химических процессов, имевших место в отдельных частях и слоях.

Таким образом, изучение ереванско-ленинаканских туфов Армении, наблюдения за геологическими условиями их залегания, исследование вещественного состава туфов и туфовых песков, анализ и сводка полученных данных дают достаточный материал, позволивший нам выяснить природу первоначального продукта и наметить процессы, в результате чего из него образовались толщи черных туфов.

#### Характер воздушного переноса туфового материала

Сейчас, конечно, затруднительно восстановить условия и картину того воздушного переноса пирокластического материала в четвертичное время, в результате чего образовались ереванско-ленинаканские туфы Армении.

Тщательное наблюдение за условиями залегания, а также внимательное изучение состава и строения черных туфов в известной степени дают материал для суждения о характере прошлого воздушного переноса того вулканического материала, из которого образовались ереванско-ленинаканские туфы.

Из карты распространения ереванско-ленинаканских туфов видно, что одни и те же разновозрастные черные туфы аналогичного минералогического состава и структуры занимают преимущественно равнинные части древнего рельефа и выступают в виде отдельных островков различных размеров, от небольших участков в 1—2 га, до полей в несколько сотен кв. километров.

Идентичные, одни и те же черные туфы наблюдаются на самых разных гипсометрических высотах. Так, в отдельных участках Приереванского района эти туфы наблюдаются на высотных отметках с разницей от десяти до 800 м. Одни и те же разновозрастные туфы наблюдаются на различных террасах р. Памбак. В Ленинаканском, Кироваканском и других районах Армении черные туфы наблюдаются также на самых различных топографических отметках.

Независимо от характера древнего рельефа и от того, где они находятся, мощность ереванско-ленинаканских туфов, за редкими исключениями, почти одинакова. Очень часто значительное уменьшение мощности их связано с размывом верхнего, и прежде всего, красного слоя туфов.

То обстоятельство, что черные туфы, залегают ли они в Приереванском или Кироваканском районе, внешне совершенно похожи друг на друга, разновозрастны по вещественному составу и структуре идентичны и имеют на десятках километров почти одну и ту же мощность, говорит о том, что эти туфы обязаны своим образованием единому вулканическому акту. Было бы неправильно и невероятно допустить, что туфовые продукты одинакового состава и в количествах, давших повсюду равномерной мощности черные туфы, извергались одновременно или разновременно из многочисленных вулканических центров. Об этом будет сказано ниже.

Приведенные выше данные говорят о том, что туфовая масса в начальный период, сейчас же после извержения, осаждалась по всей вероят-

ности на огромной площади приблизительно равномерным слоем в западной части Армении.

В последующий эрозионно-денудационный период слежавшиеся и уплотнившиеся туфы подверглись разрушению, размыву и эрозии. И в настоящее время останцы их сохранились лишь в тех преимущественно равнинных частях древнего расчлененного рельефа, где, после осаждения туфового материала, отсутствовали более или менее существенные эрозионные процессы. Там же, где по характеру рельефа имели место процессы размыва, туфы, как породы менее устойчивые, чем лавы, подвергались быстрому разрушению и размыву. Как известно, черные туфы в настоящее время отсутствуют на относительно крутых склонах древнего рельефа; отдельные останцы их, как указано выше, занимают площади в несколько сотен кв. километров (егвардское, шамирамское, кармрашенское, ленинаканское и др. поля); с другой стороны ерезано-ленинаканские туфы часто встречаются и в виде мелких участков, измеряемых единицами гектаров (Аргаванд, Шорагбюр и др.).

Черные туфы многочисленными отдельными останцами выступают в северо-западной части Армянской ССР на огромной площади. Суммарная площадь сохранившихся на ней останцев составляет не более 1/5 первоначальной.

Изучение шлифов ереванско-ленинаканских туфов под микроскопом обнаруживает спекание стекловатых частиц; оно показывает, что осколки вулканического стекла, спаянные между собой, сохраняют почти всегда свои очертания и явления, сплавления\* в них не наблюдается. Иначе говоря, легкоплавкие частицы свежес выпавшего вулканического материала (стекла) у черных туфов находились в той степени вязкости, при которой, не обладая существенной способностью течь, туфы, наподобие снежных покровов, сохранились тонким покровом и агглютинировались на поверхности.

Наблюдения показывают, что нередко в пониженных частях рельефа мощность ереванско-ленинаканских туфов несколько больше, чем на склонах: это явление может быть объяснено сползанием с относительно крутых склонов еще незатвердевшего свежего покрова туфовой массы в начальный период ее отложения; это, повидимому, сопровождалось сходом делювиального обломочного материала, который нередко наблюдается в наших туфах.

Таким образом, изложенные выше факты указывают на наиболее вероятный характер воздушного переноса вулканического материала, из которого образовались черные туфы Армении; в результате сильнейшего эксплозивного извержения было выброшено огромное количество пирокластических продуктов; на подобие обильного снегопада (огненного

\* Под «сплавлением» понимается остывание слившихся частиц стекла, находящихся сейчас же после выпадения еще почти в жидком расплавленном состоянии, при котором после остывания трудно различаются очертания отдельных частиц.

ливня) эта масса плащеобразно покрыла небольшим, но равномерным слоем туфа громадную территорию с пересеченным рельефом.

В Советском Союзе нам не известны такие четвертичные туфовые образования, которые находились бы в тех же условиях залегания и характеризовались теми же физико-химическими качествами, что и ереванско-леннинканские туфы. Но за пределами СССР, хотя и редко, они имеются. В частности, туфы (игнимбриты) к западу от Йеллоустонского парка, в юго-восточном штате Айдахо, по характеру залегания напоминают наши; они покрывают неровную топографическую поверхность относительно таким пластом, мощностью 6—15 м, встречаясь на весьма различных высотах, с разницей высот до 1000 м и даже несколько больше [9].

В иных условиях протекал воздушный перенос туфового материала при образовании игнимбритов в ряде других зарубежных стран. Так, раскаленные тучи Мон-Пеле на острове Мартиники распространялись лишь на сравнительно небольшой площади, но весьма вытянутой по направлению движения лавины. Как известно, этот тип извержения Лакруа отнес к раскаленным облакам направленного (нисходящего) взрыва, образованным от раздробления весьма подвижной лавины раскаленной массы под действием газов и стремительного движения, как это имело место при извержении Мон-Пеле в 1902 и 1932 гг.

Сравнивая условия залегания ереванско-леннинканских туфов и аналогичных образований Аляски (извержение Катман в 1912 г.), мы приходим к выводу, что характер воздушного переноса, при котором образовались туфы обеих областей, был различен.

В самом деле, в Катман «раскаленные тучи» поднимались одна за другой из многих трещин, которые открылись в долине; при этом поток очень подвижной, раскаленной, частично газовой «эмульсии» вылился плоско и, когда вся эта масса осела, то из долины образовалась равнина песчаного туфа, занявшая 190 кв. км поверхности. Широкое дно долины было покрыто туфом мощностью до 35 и более м. Трудно полагать, что характер извержения, давшего плащеобразный покров черных туфов Армении, был бы аналогичен типу извержения Катман в 1912 г. и, прежде всего, потому, что на Аляске раскаленные туфы, потоки раскаленного песка в виде текучей «эмульсии» заполнили долину с довольно расчлененным рельефом, превращая его в ровную с тысячами fumarолами «долину десяти тысяч дымов» типа базальтового плато.

Риолитовые туфы Северного острова Новой Зеландии (плиоцен-плейстоценового возраста), судя по описаниям, по внешнему виду и структуре несколько напоминают ереванско-леннинканские туфы, имея однако значительно большую мощность. Но и здесь мы имеем форму поверхности, сходную с Катмайской, напоминающую плато из базальтовой лаавы, потоки риолитового пирокластического материала, выброшенного по видимому также в виде раскаленных песков—эмульсии,\* заточили—

\* Смесь пыли, летучих и других вулканических продуктов, ведающая себя подобно жидкости.

заполнили долину и полностью погребли под собой древний рельеф. Таким образом, и здесь нужно полагать, что условия залегания и физико-химическая природа вулканических продуктов, а стало быть и характер воздушного переноса, образовавшие игнимбриты Новой Зеландии, были иные, чем при образовании туфов ереванско-ленинканского типа.

Такая же картина наблюдается и в ряде других областей. Так, по сведениям А. Н. Заварицкого [8, 9] и Коттона [13] бишопские туфы (Калифорния) мощностью до 500 м образуют значительную ровную поверхность ок. 1000 кв. км, несмотря на резкую пересеченность погребенного рельефа. В Сев. Суматре, в районе оз. Тоба, огромная масса игнимбрита разбросана на площади с довольно резким рельефом и образует совершенно ровную поверхность. Повидимому во всех перечисленных случаях характер извержения и физико-химическая природа выброшенного материала были аналогичны катмайским и в известной степени отличались от характера извержения и природы вулканического материала, превратившегося потом в черные туфы Армении.

К сожалению, мы не знаем условий, характера извержения и физического состояния первоначального пирокластического материала, из чего образовались неллоустонские породы. Судя по тому, что игнимбритовый материал в Катмае, Новой Зеландии и других провинциях заполнял неровности древнего рельефа, надо полагать, что в перечисленных областях туфовая масса, после отложения на поверхности, еще находилась в подвижном состоянии, или вообще обладала способностью течь в виде эмульсии благодаря высокой температуре. Первоначальный же материал, из которого образовались черные туфы Армении и, повидимому, неллоустонские породы, надо полагать, что выпадал на значительно больших площадях и, не обладая способностью течь, он, подобно снегу, сохранился тонким покровом и агглютинировался из всей поверхности. В таком случае надо думать, что температура продукта извержения при образовании четвертичных туфов Армении была несколько ниже температуры той массы, из чего образовались туфы Катмайского типа.

Как известно, игнимбриты Новозеландского типа обычно характеризуются столбчатой отдельностью. В черных же туфах Армении, с относительно низкой температурой исходной массы, эта особенность наблюдается значительно реже; наши туфы преимущественно представлены глыбовой отдельностью.

#### Тип вулканизма

Как известно, черные туфы Армении, где бы они ни залегали, характеризуются своей темной (черной, темнокоричневой и темносерой) окраской и лишь кверху приобретают оранжево-красноватую окраску, обязанную, как сказано выше, окислительным процессам, вызванным непосредственным соприкосновением еще горячего верхнего их слоя с кис-

лородом воздуха. Переход красноватых оттенков туфа в серовато-черную происходит постепенно. Мощность красных туфов редко превышает 1 м, но иногда, ближе к вертикальным трещинам, красноватая окраска наблюдается и глубже. То обстоятельство, что еревано-ленинканские туфы в своей верхней части переходят в красные, а вся масса до подошвы сложена черными (темносерыми) туфами, говорит о весьма быстром, почти о непрерывном процессе извержения и оседания туфового материала с воздуха; иначе черные туфы, в перерывах, под влиянием продолжительного соприкосновения с воздухом, приобрели бы красноватый оттенок и в единой пачке наблюдалось бы чередование красных и черных туфов. Наблюдения за Камчатскими вулканами [6] показывают, что процесс извержения здесь ограничивается не одним актом, а непрерывными взрывами, наблюдаемыми через каждые 5—6 часов, или же чаще, сопровождаемыми выбросами громадного количества горящего вулканического газа и рыхлых продуктов, продолжающимися в течение месяцев (по Грейтону [5]—тип среднечастотных ритмов вулканизма).

Таким образом, мы приходим к выводу, что вулканические продукты, представленные раскаленной стеклянной пылью, вместе с горячими и с более крупными интрателлурическими минералами и обломками различных пород, породившие наши туфы еревано-ленинканского типа, были выброшены взрывной силой в весьма короткий промежуток времени и ими была покрыта равномерным слоем вся поверхность громадной территории. Этот тип вулканизма может быть отнесен к высокочастотным ритмам, при котором процесс протекает в действующем канале, с магмой, довольно богатой летучими.

Выше указывалось, что отложение пирокластического материала на громадной площади равномерным слоем обязано скорее всего ливневому типу извержения, т. е. его можно рассматривать, как продукт вулканического огненно-фонтанирующего ливня. Подобные или близкие к извержениям этого типа явления имели место в недавнем прошлом в ряде мест.

Так, в Исландии (1783 г.) из трещины Лаки длиной в 35 км таким образом было выброшено громадное количество вулканической мелочи («скорна»).

В Новой Зеландии (извержение Тараверы) в 1886 г. было выброшено огромное количество пирокластического материала из «непрерывных» трещин (разломов) [13].

Продуктами извержения Тараверы являлись вулканический песок и пепел, пузырьчатые пористые частицы стекла или пемзовые лапилли и бомбы, которые вместе с обломками пород стенок канала, отсортированные во время переноса их через атмосферу, покрывали громадные площади к СВ от Тараверы.

Максимальная мощность накопления грубых и крупных обломков близ трещин достигла 80 м; в районе распространения мелких фракций слой агглютированного туфа значительно меньше.

По данным Коттона [13] подобного типа извержения имели место и

в других областях Новой Зеландии: извержение магмы риолитового состава в окружении оз. Таупо, где огненно-пепельный дождь покрыл плотным слоем площадь в 3000—4000 кв. км и т. д.

Чтобы иметь представление о высоте извержения вспомним извержения камчатского вулкана Авачи в 1938 г. По описанию Б. И. Пийпа [20] столб «испещренный молниями и прорезываемый искрящимися фейерверками вылетающих бомб, поднимался над кратером на высоту до 4—5 км».

По наблюдениям С. П. Главццкого и И. И. Лагунова [4] над извержением того же вулкана в 1945 г. вулканические продукты выбрасывались из кратера на высоту более 7 км.

По некоторым данным [13] при катастрофических взрывах типа Кракатоа материал выбрасывался еще выше—в стратосферу; при этом затрачивалась колоссальная кинетическая энергия, полученная из внутреннего тепла. Тем больше должна была быть кинетическая энергия (количество тепла), затраченная для сверхкатастрофических взрывов, давших в кратчайший промежуток времени выброс грандиозного количества вулканических продуктов для образования плащеобразного покрова черных туфов Армении.

Каждый вид эксплозионного извержения, в зависимости от различных факторов, создает своеобразные условия залегания вулканического продукта на поверхности земли.

Из вышеприведенного анализа вытекает, что извержение, породившее ерезано-ленинканского типа туфа, вряд ли относилось к пелейскому или катмайскому типу. Извержение туфового материала в Армении, повидимому, сопровождалось выделением огромного количества паров, раскаленных газов, вулканических продуктов и тепла, при которых, несмотря на колоссальную траекторию движения частиц в воздухе, они выпадали на поверхность около 10000 кв. км еще в раскаленном и в значительной своей части в полувязком, размягченном состоянии.

При выпадении пепла и вообще пирокластических частиц из верхних слоев атмосферы, в зависимости от количественного соотношения между ними и раскаленными газами, частицы могут сохранить такую температуру, при которой они выпадут еще горячими, как в случае «дождя» Таупо (250° С). В отдельных случаях мы полагаем возможным, что частицы, после падения, могут оставаться настолько горячими и стекловатая часть их может сохранить такую вязкость, при которой пирокластический материал при остывании может агглютинироваться на поверхности земли и превратиться в твердую породу. Таким образом, нам представляется, что именно в таких условиях, в результате огненного ливня вулканических частиц, на одной трети территории Армении отложился пирокластический материал, агглютинировавшийся впоследствии в черные туфы Армении. То же самое имело место, вероятно, в юго-восточном Айдахо, где образовались такие же плотные туфы, покрывшие в первоначальный период почти всю местность 7—10 метровым слоем.

## Тип извержения

К какому же типу—центральному, трещинному или ареальному (многовыходному)—относится извержение, давшее в результате четвертичные ереванско-ленинаканские туфы, имеющие широкое распространение в западной части республики?

Какие фактические данные могут помочь нам разрешить этот вопрос?

Для правильного решения этой задачи имеет важное значение учет следующих обстоятельств:

1. Все черные туфы по своему механическому и минералогическому составу, структуре, цвету и другим морфологическим и физическим свойствам, независимо от района залегания, единовозрастны и почти ничем не отличаются друг от друга.

2. Черные туфы и связанные с ними туфовые пески выступают на площади массива г. Арагац лишь в западной части территории Армянской ССР. Во всяком случае, восточнее меридиана Приереванского района, восточнее линии Дилижан—Веди ереванско-ленинаканские туфы нигде не обнаружены. На западе, в пределах Турции, черные туфы, судя по литературным данным, также имеют некоторое распространение.

3. Несмотря на многочисленные шлаковые конусы на площади распространения описываемых туфов и за ее пределами, покровы одновозрастных ереванско-ленинаканских туфов до сих пор геологически не удалось привязать к какому либо центру, за исключением разве только арийских пемзовых туфов. Попытка рассматривать черные туфы некоторых частей общего покрова, как продукт извержения отдельных центров на территории республики, научно не обоснована; эти части органически связаны с целым покровом совершенно однородного и одновозрастного вулканического туфа и они, вероятно, обязаны своим происхождением одной вулканической системе, вернее, системе одновременно действующих трещин.

Наличие черных туфов вокруг шлаковых конусов (Ошакан, Нахутата и т. д.) не указывает на них, как на место извержения туфового материала. В противном случае туфы должны были здесь иметь более грубо-обломочное сложение; между тем известно, что черные туфы у шлаковых конусов по своему сложению и составу ничем не отличаются от тех же туфов, залегающих на расстоянии десятков километров.

Пространственное распределение и размер площади отложения продуктов вулканического взрыва зависят прежде всего от силы взрыва. В. Ф. Подков [21], наблюдавший за деятельностью вулкана Бюлякай, отмечает, что уже на расстоянии больше 1 км отложившийся вулканический материал состоял из пепла, песка и лапилли. В иных случаях, конечно, может получиться другая картина. Исходя из того, что мощность продуктов выбросов обратно пропорциональна расстоянию от места взрыва, а мощность наших черных туфов по всей Армении примерно одинаковая, и, с другой стороны, учитывая однородность состава и строения туфов, трудно допустить, что источники извержения туфового мате-

риала находились бы в Армении в пределах контура распространения черных туфов; иначе здесь должны были наблюдаться в них постепенные переходы от крупных фракций к мелким, каковое явление не имеет места. Можно допустить, что эти эруптивные каналы находятся за пределами распространения площади туфов и может быть в Северной Армении, из западе, за пределами Армянской ССР, что, конечно, подлежит уточнению. Во всяком случае сейчас нет достаточного материала для окончательного решения этого вопроса.

Неправильно было бы допущение, что это огромное количество выброшенного рыхлого материала (более 100 куб. км в пределах Армении) в течение очень короткого промежутка времени было бы обязано деятельности какого-нибудь одного вулканического конуса. Обломочный вулканический материал, объемом в 100 куб. км—это колоссальная величина.

Известное извержение вулкана Тараверы (Новая Зеландия), выбросившее в 1886 г. вулканический материал, впоследствии агглютинировавшийся и перешедший в туфы, происходило из систем трещин в 35 км длиной («рифтов»). Выброшенная масса по объему измеряется 3—4 куб. км.

Гораздо больше вулканического продукта указанного типа было выброшено из трещины (разлома) Лаки (Исландия) в 1783 г. Нам представляется мало вероятным, чтобы вулкан центрального типа мог бы в течение весьма короткого промежутка времени выбросить обломочный материал, объемом не менее 100 куб. км. Вообще такое количество пирокластических продуктов в течение короткого промежутка времени могло выброситься только из разломов, или из системы трещин, при громадной силе извержения.

#### Физико-химические процессы и механизм извержения

Какие должны были происходить физико-химические процессы и каковы должны были быть условия в магматическом очаге и вулканическом канале, в результате чего могли бы образоваться подобного типа извержения и вулканические продукты выбросов, породившие наши черные туфы?

Мы постараемся разъяснить эти явления лишь в самых общих чертах.

Как известно, в магме любого состава летучие (вода и газы) образуют существенную часть ее. По мнению ряда вулканологов, основанному на исследованиях и наблюдениях над выделяющимися из вулканов газами, полный вес летучих в магме может составить от долей процентов до, примерно 10% веса магматического расплава. Летучие вещества в глубоких недрах находятся в магме в растворенном состоянии, под огромным давлением в тех случаях, когда магматическая камера находится на очень большой глубине. С другой стороны, высокое давление газов может порождаться и на относительно небольшой глубине. Лакруа [13], изучая явления „*puées ardentes*“ на о. Мартиники, находит возможным, что в процессе кристаллизации расплава стекла, пары

растворенной воды, вместе с другими газами, как бы выталкиваются из него; при наличии газоупорных стенок вулканического канала может происходить постепенная концентрация (скопление) летучих, порождающая высокое давление, достаточное иногда для извержений значительной силы. Исследования, проведенные Горансоном, также указывают на возможность появления давлений, развивающихся при этом и достигающих нескольких тысяч атмосфер.

Так как вулканические извержения последнего типа с относительно небольшой глубины могут выбросить лишь ограниченное количество вулканических продуктов, то можно предполагать, что при извержении грандиозного количества вулканического материала, происшедшем в весьма короткий промежуток времени и породившем еревано-ленинканские туфы, магматическая камера находилась скорее всего на большой глубине. Кроме того, судя по степени измельченности рыхлых пирокластических продуктов, являющихся, главным образом, производной вязкой магмы, и по ряду других соображений, надо полагать, что указанное извержение принадлежало к сильнейшим взрывам.

Горячие вулканические газы диффундируют из нижних слоев в верхние части и при восхождении их к уровням меньшего давления расширяются, охлаждаются и постепенно освобождаются из растворенного в магме состояния. В конечном итоге процессе движения магмы вверх и вызывается, главным образом, этим расширением растворенных в ней летучих, которые при уменьшении давления газов стремятся занять больший объем.

Постепенное освобождение и расширение флюидов из жидкой расплавленной магмы (по мере ее восхождения) происходит примерно с геометрически прогрессирующей скоростью и интенсивностью. Приведенная ниже таблица 4, заимствованная у Грейтона [5], для магмы с содержанием 9,49% летучих (по весу), показывает изменение количественного соотношения (в объемных %) расплава и газа по мере восхождения их снизу вверх; вместе с тем кривая, составленная на основании данных таблицы, дает некоторое представление также о скорости восходящей массы на различных глубинах.

Таблица 4

Глуб. в км		
40	Расплав в объеме, %	100,00
20		96,71
10		88,77
5		71,45
2		33,76
1		17,35
0,5		8,73
0,25		4,43
0,1		1,81
0,02		0,48
Поверх.	Газ в объеме, %	99,52

Приведенные цифры показывают, что объемное отношение газов к расплаву на поверхности равно 1250:1. Весовое соотношение этих компонентов составляет 1:9.

Это громадное расширение газов по сравнению с тем объемом, каким они обладали в магматическом очаге, вызывает в поступательном их движении вверх понижение температуры самих газов и расплавленного силикатного вещества, что, в свою очередь, в значительной степени повышает его вязкость и тем больше, чем больше содержание газа в единице объема расплава. Ближе к дневной поверхности получается значительное охлаждение всей вулканической массы, вызывающее еще большее повышение вязкости вследствие потерь тепла: скрытой теплоты, адиабатического охлаждения, падения температуры от перехода тепла в кинетическую энергию; последняя идет, главным образом, на ускорение подъема, раздробление отдельных глыб твердых пород стенок канала и извержение этого материала высоко над жерлом в воздух и т. д.\*

Надо отметить, что одновременно с потерей, в процессе извержения имеет место и некоторое развитие теплоты. Она возникает в вулканическом канале благодаря внутреннему трению восходящей магмы и трению о стенки канала, в особенности в самой его верхней части, где преобладают большие скорости движения. Кроме того, хотя имеются возражения со стороны некоторых исследователей, но большинство вулканологов, и в частности А. Н. Заварицкий, придают большое значение экзотермическим реакциям между газами, выделяющим при извержении некоторое количество тепла.

Приобретение черными туфами красной окраски в поверхностных слоях после их отложения, воспламенение газов в воздухе при извержении магматических и грязевых вулканов и ряд других фактов, действительно, подтверждают явления экзотермических реакций между газами (выделяющимися при извержении) и кислородом воздуха.

Вязкая от расширения газов и охлаждения стекловатая масса в вулканическом канале при понижении давления приобретает способность вспучиваться; газы не в состоянии свободно выделяться, как это происходит в жидкой магме. Поэтому вязкое стекло по мере восхождения может вздуться настолько сильно, что при дальнейшем расширении пузырьков газа давление его на некоторой глубине достигает своего предела и станет достаточным, чтобы эксплозивно разрушить эту вязкую пенную массу.

В свете этих данных механизм извержения, породивший ереванско-ленинканские туфы, нам представляется в следующем виде.

Колоссальное количество летучих, находившихся в магме в растворенном состоянии и под огромным давлением, при восхождении к уровням меньшего давления вспучивало ее. Под влиянием освобожденного газа охлажденная, вязкая и вспученная масса, со взвешенными интра-

\* Л. К. Грейтон [5] считает вероятным, что в вулканах, извергающих магму с высоким содержанием летучих, при подъеме ее из очага к кратеру, может произойти охлаждение магматической системы до 500° С.

теллурическими минералами и материалом раскола и обвала стенок канала, с громадной силой была эксплозивно выброшена высоко над вулканическим выходом.

Громадное количество выброшенного материала указывает на большую глубину магматической камеры, где произошел взрыв.

Взрыв и выброс пирокластического материала произошел в короткий промежуток времени (из разломов или системы трещин, находящихся, возможно, вне территории Армении), почти непрерывно, в результате чего окислительному действию кислорода воздуха подвергся лишь верхний слой осажденной туфовой толщи.

Продукты выброса в виде разной дробности магматических обломков, комков лемзы, лапиль, вулканического песка, пыли (пепла), а также материала дробления более древних пород, выпадали, на подобие огненного ливня, на громадную территорию, образуя плащеобразный покров толщи, агглюнтирующейся впоследствии в туфы еревано-ленинканского типа.

Выброшенный из глубоких недр раскаленный вулканический материал, а также громадное количество горящих в воздухе газов, создали благоприятные температурные условия для пелловых частиц на поверхности, при которых происходило спекание полувязких стекловатых частиц при охлаждении рыхлой массы и переходе их в плотные туфы.

Весовое количество летучих в магме при этом составляло, повидимому, от 5 до 8% всей массы.

Меньшее количество содержания летучих не вызывало бы пенообразования, т. к. в этом случае в канале из-за высокой температуры массы магматический расплав был бы настолько жидким, что создались бы благоприятные условия для свободного выделения газов, что, в свою очередь, вызвало бы просто лавовое излияние.

Допустить большее содержание летучих в магме, порядка 9—10 и более процентов, также было бы необосновано, так как в таком случае, по законам физической химии, получилось бы сильное охлаждение вспученного силикатного раствора, что в весьма короткий промежуток времени могло бы вызвать затверждение его в верхней части канала, в результате чего процесс извержения должен был оборваться и произошла бы самозакупорка извержения.

#### О температуре свежеосевшего туфового материала

В заключение, пользуясь некоторыми прямыми и косвенными показателями, перейдем к вопросу о температуре свежеосевшей вулканической массы, явившейся исходным материалом для образования туфов еревано-ленинканского типа.

Для разрешения этой задачи рассмотрим ряд положений, который может пролить свет на природу интересующего нас явления.

1. Основная масса указанных туфов представляет осколки пемзовидного стекла (пепла). Температура их была такой, при которой эти частицы находились в той степени вязкости, что при дальнейшем (после

осаждения) охлаждении происходило спекание их. Однако частицы пепла сохранили свое первоначальное очертание.

Начало процесса уплотнения туфов происходило, повидимому, при температуре значительно меньшей, чем  $900^{\circ}$ , при которой уже должно было наблюдаться «сплавление» стеклянных осколков и переход туфов в породы, макроскопически очень похожие на текучие (лотожи) лавы или обсидианы, обычно отличимые от них под микроскопом. Действительно, некоторые натриевые стекла и, в частности, натриевый обсидиан, при температуре около  $600^{\circ}$ , размягчается; начиная от  $600$  до  $660^{\circ}$  вспучивает, а при  $900^{\circ}$  — плавится. Судя по многочисленным химическим анализам, черные туфы Армении могут быть отнесены к натриевым. Отсюда можно предположить, что температура свежесформировавшейся массы находилась в пределах от  $660$  до  $800^{\circ}$  С. При более высоких температурах в туфах наблюдались бы явления «сплавления» стекловатых-пепловых частиц, чем характеризуются, повидимому, некоторые ипимбриты, в частности, ипимбриты района оз. Тоба (Суматра), которые раньше (долгое время) принимали за риолит.

2. Наблюдаемые в еревано-ленинканских туфах коррозии («изъеденность»), сотовая или скелетная текстура в кристаллах андезина не могут характеризовать температурные условия свежесформировавшегося материала. Взвешенные в магме кристаллы андезина и пироксена (интрателлурические минералы) образовались в глубоких недрах магматического очага при высоких температурах и давлениях. Явление же коррозии — оплавления находящихся в магме кристаллов — происходит в нижней части вулканического канала, при более низких температурах, чем температура магмы глубоких недр и несколько ослабленном давлении.

3. Для определения искомой температуры мы придаем очень важное значение красноватой окраске, которую приобрели верхние слои черных туфов в Армении. Это явление, как отмечалось выше, связывается с переходом значительной части закиси железа в окись, свежесформировавшейся массы под влиянием окислительного действия достаточного количества кислорода воздуха при определенной температуре. Так как указанная реакция по данным Б. Г. Карпова, Ю. Н. Книпович и Ю. В. Мурачевского\* происходит при температуре от  $600$  до  $700^{\circ}$  С, то есть основание предполагать, что температура первоначальной массы, уплотнившейся и перешедшей в туфы еревано-ленинканского типа, находилась в пределах не ниже  $600$ — $700^{\circ}$  С.

4. Для характеристики нижнего предела температуры первоначальной туфовой массы небезинтересно вспомнить, что древесина обугливается при  $250^{\circ}$ . В армянских туфах нигде не было обнаружено углистых следов или остатков обожженных костей. Находка костей млекопитающих в Аванских карьерах приурочена к нижнему слою туфов, подверг-

\* «Анализ минерального сырья» (Сборник методов химического анализа) ОНТИ, Ленинград, 1936.

шему, вероятно, при отложении вулканического материала, некоторому охлаждающему действию паров воды (судя по подстилающим туфовым пескам и галечникам).

5. Для решения вопроса о температуре свежесвыпавшей массы, из которой образовались туфы ереванско-ленинаканского типа, небезинтересен анализ литературных данных и наблюдений исследователей зарубежных стран и сравнение этих данных с выводами, к которым мы пришли. Коттон [13], по данным Козу, указывает на то, что температурные наблюдения над пемзовыми потоками, выпавшими из „*puces argentees*“ в Японии, через 8—11 дней после извержения показывают в среднем цифру 360° С на глубине 0,4 м.

Вычисленная Маршаллом температура, при которой «раскаленные тучи» вырывались в Новой Зеландии, образуя игнимбриды, была порядка 1000°. По данным Перре температура раскаленной лавины при извержении из о. Мартиники, в 1902 г., была ниже точки плавления меди (1058°), но достаточно высокая, чтобы стеклянная бутылка размягчилась (650—700°).

Таким образом, температура свежесовших масс, послуживших материалом для образования зарубежных игнимбридов, получается порядка 800 до 1000°, при этих условиях натриевое вулканическое пемзовидное стекло (пепел) находится или в расплавленном состоянии или на границе плавления. Поэтому возможно, что часть указанных игнимбридов представляет в основном «сплавленные» породы. Температура же осевшей массы, из которой образовались спекшиеся туфы ереванско-ленинаканского типа, не несущие признаков «сплавления», конечно, должна быть ниже указанных. На основании вышеприведенных данных эта температура, по видимому, была в пределах 650—900° С, т. е. около 750° С. При этой температуре натриевое вулканическое стекло (частицы пемзы) может быть в таком размягченном (вязком) состоянии, при котором возможно было спекание полутвердых частиц стекла друг с другом.

В описанной последовательности и условиях нам представляется в общих чертах весь сложный ход физико-химических процессов, которые происходили с магмой от глубинного очага до образования из нее плотных туфов ереванско-ленинаканского типа.

Институт геологич. наук  
Академии наук Армянской ССР

Представлено 4 VI 1951

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Абул Г.—Геология Армянского нагорья. Западн. часть. Орографическое и геологическое описание. Записки Кавказского отдела император. Русского географ. общества. Книжка XXI. Пятигорск, 1899.
2. Гамбарян П. П.—Геолого-петрографический очерк района средней Зангу.

- Бассейн р. Зангу, ч. 2. Геолого-гидрогеологические очерки. Труды сов. по изучению природных ресурсов (СОПС). Серия Закавказская, вып. 10, 1934.
3. Гинсберг А. С.—Петрография республики Армении. Петрография СССР, сер. 1. Региональная петрография, вып. 2. Ленинград, АН СССР, 1934.
  4. Глазницкий С. Н. и Лагунов И. И.—Извержение вулкана Авачи 25 II 1945 г. Изв. Всесоюз. географ. общ., т. 78, вып. 3, 1946.
  5. Грейтон Л. К.—Предположение о вулканическом тепле. Перевод с англ. «И. Л.» Москва, 1949.
  6. Дидерих Ф. М., Кулаков В. С. и Святловский А. Е.—Паразитические кратеры Ключевского вулкана, возникшие в 1932 г. Труды Камчатской вулканологической станции. Москва—Ленинград, вып. 2. Изд. АН СССР, 1948.
  7. Заварицкий А. Н.—Некоторые вулканические породы окрестностей Ключевской сопки на Камчатке. Зап. Российск. минералог. общ. № 2, 1931.
  8. Заварицкий А. Н.—Некоторые черты четвертичного вулканизма Армении. Известия АН Армянской ССР (естественные науки), № 5—6, 1944.
  9. Заварицкий А. Н.—О некоторых данных вулканологии в связи с изучением четвертичных туфов и туфолов Армении. Известия АН Армянской ССР (естественные науки), № 10, 1946.
  10. Заварицкий А. Н.—Испимбриты Армении. Известия АН СССР, геологические науки, № 3, 1947.
  11. Залесский Б. В. и Петров В. П.—Арктическое месторождение туфовых лав. Труды Петрограф. инст. АН СССР, вып. 1, 1931.
  12. Иванчик-Писарев А. А.—Месторождение Арктической туфовой лавы. Труды Института приклад. минералогии, Москва, 1930.
  13. Cotton C. A.—Vulcanoes as Landscape Forms, London, 1944.
  14. Лебедев П. И.—Вулкан Алагез и его лавы. Алагез (потухший вулкан Армянского нагорья) т. 1. Труды Совета по изучению произв. сил. Серия Закавказская, вып. 3, Ленинград, 1934.
  15. Лодочкиков В. И.—Краткая петрология без микроскопа. ОНТИ НКТП СССР, Москва—Ленинград—Новосибирск, 1934.
  16. Малеев Е. Ф.—Пелловые туфы Сейфунского бассейна. Вестник ДВ фил. АН СССР, № 28 (1), Москва, 1938.
  17. Минева Е. Ф.—Снадинское месторождение туфов. «Разведка недр», № 8—9, Москва, 1938.
  18. Миричанов Х.—Ископаемые почвы в ССР Армении. «Почвоведение», № 5—6, 1932.
  19. Паффенгольц К. Н.—К вопросу о возрасте и генезисе туфов Армении. Стратиграфия четвертичных лав Восточной Армении. Зап. Минералог. общ. № 2, Ленинград, 1934.
  20. Пайн Б. И.—О раскаленных агломератовых потоках Авачи и о типе извержения этого вулкана. Бюлл. вулканолог. станции на Камчатке, АН СССР, Москва—Ленинград, № 2, 1946.
  21. Попков В. Ф.—О деятельности Бюлякая в 1938—1939 гг. «Бюллетень вулканолог. ст. на Камчатке». АН СССР, М—Л, № 12, 1946.
  22. Фаворская М. А.—Третичные туфолавы Южного приморья. Изв. АН СССР, Серия геологическая, № 5 (IX—X), 1949.
  23. Фиолетова А. Ф.—Исследования причин разнообразной окраски арктических туфов. Труды ВИМС\*, № 35, 1—14, 1931.
  24. Числиев Д. Г.—Арктические строительные туфовые лавы и конструкции из них. Изд. Института прикл. минералогии, Москва, 1932.

## Ա. Ի. Մեսրոպյան

## ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԶՈՐՐՈՐԴԱԿԱՆ ՏՈՒՖԵՐԻ ԾԱԳՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

## Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ի Մ

Հայաստանի չորրորդական հասակի հրաբխային տուֆերի միներալոգիական և պետրոգրաֆիական կազմության, քիմիական բաղադրության, ինչպես նաև տեղագրման գեոլոգիական պայմանների ուսումնասիրությունը թույլ է տալիս այս կամ այն չափով լուծելու Հայաստանում լայն տարածում ունեցող այսպես կոչված երևանա-լենինականյան (սև) տուֆերի ծագման վերաբերող մի շարք հարցեր:

Դաշտային և լարճատար ուսումնասիրությունները դույզ են ավել, որ տուֆային ավազները և նրանց վրա տեղադրված պեմզայի շերտերը, որոնք հաճախ զանվում են սև տուֆերի տակ, իրենց ծագումով պարտական են ժայթքմանը և շիկացած տուֆային մատերիայի նստեցմանը ջրային ավազանում: Դրա հետևանքով հատկում, որը կազմած է լճա-դետա-յին նստվածքներից, կուտակվել են տարբեր հզորության տուֆային ավազների շերտեր, որոնք միներալոգիական և քիմիական տեսակետից չեն տարբերվում սև տուֆերից:

Շնորհիվ արտավիժած մատերիայի բարձր ջերմաստիճանի և, հետևապես, ազակյա մասնիկների կիսանեղուկ վիճակի, երկրի մակերեսի վրա այդ մասնիկները սառեցման ժամանակ ձուլվել են: Հետագա շերտերի ճնշման տակ այդ տուֆային կիսանեղուկ մասսան սառել է, վերածվելով երևանա-լենինականյան խիտ տուֆերի:

Տուֆային մատերիայը, որից առաջացել են Հայաստանի սև տուֆերը, ժայթքման ժամանակ գրավել է հսկայական մակերես շուրջ 10000 քառ. կմ և ձյան ծածկոցի նման հովասարաչափ շերտով պահպանվել է երկրի մակերեսի վրա, առանձին կղզիների ձևով: Հետագայում զգալի մասը (մինչև 0,7—0,8) ենթարկվել է լվացման և տեղափոխման:

Տուֆերը պահպանվել են միայն հին սելեֆի հարթավայրային մասերում, որտեղ գրավել են կուտակման երևույթներ:

Ուրիշ պայմաններում են տեղադրված իզնիմբրիաներ կոչված տուֆերը Մովսեսական Միության ուսմաններից դուրս, ինչպես օրինակ՝ Կատամայում, Նոր Զելյանդիայում, Կալիֆորնիայում, Բնայոնիայում և այլն (բացի Ինդոստանակի պարիք, որտեղ տուֆերը գտնվում են այնպիսի պայմաններում, ինչպես մեզ մոտ): Իզնիմբրիաների սկզբնական մասան էմուլայայի ձևով լցրել է անհարթությունները, հեղեղել է ուժեղ կերպով կարտված հին սելեֆի և առաջացրել բազալտային ծածկոցների տիպի սելեֆի: Մի շարք փաստեր, ինչպես օրինակ այդ տիպի տուֆերի նմանությունը ամենուրեք, և այլ փաստեր ապացուցում են, որ տուֆային մատերիայի ժայթքումը տեղի է ունեցել չափազանց կարճ ժամանակի ընթացքում:

Ինչպիսի ժայթքման արդյունք են արդյոք Հայաստանի սև տուֆերը՝ կենտրոնական, արեալ (բազմակրատերային) թե ճեղքվածքային:

Այդ հարցին պատասխանելու համար պետք է նկատի ունենալ, որ դուրս մղված տուֆային մատերիայի այդպիսի հսկայական զանգվածը

(մտտ 100 խոր. կմ) շատ կարճ ժամանակի ընթացքում կենտրոնական տիպի հրաբխից չէր կարող առաջանալ. պարզ է, որ այդ տուֆերը հեռավանք են ճեղքվածքային արտափոխման: Ինչպես հայտնի է, վերջին հարյուրամյակների ընթացքում նման ժայթքումներ տեղի են ունեցել տասնյակ կիլոմետր երկարությամբ ունեցող ճեղքվածքների սիստեմից, օրինակ՝ Տարափերա հրաբուխը նոր Ձելանդիայում (1886 թ.), Լակի հրաբուխը Իսլանդիայում (1783 թ.), երբ ճեղքվածքների սիստեմից և կտրվածքներից դուրս են ժայթքել տուֆային մատերիալի մեծ զանգվածներ, առաջացնելով իգնիմբրիտների հսկայական կուտակումներ:

Այսպիսով, կարելի է ենթադրել, որ Հայաստանում տուֆերը ամենայն հավանականությամբ հեռեանք են ճեղքվածքային արտափոխումների: Բացի այդ, Հայաստանի տերիտորիայի վրա երևույթով կանալների մոտիկությամբ ուղղակի նշաններ չեն հայտնաբերվում:

Հոգվածի նախափերջին պուլսը նվիրված է տուֆերի առաջացման ֆիզիկո-քիմիական հարցերին: Քննության են առնված այն պրոցեսները, որոնք տեղի են ունենում տուֆային մատերիալի արտափոխումից սկսած մինչև սև տուֆերի վերածվելը: Այդ հարցերում առանձնապես կարևորություն է արվում ցնդող կոմպոնենտներին, որոնցով հարուստ է եղել տուֆային մատերիալը: Հոգվածի վերջում պարզարանվում են արտափոխված տուֆային մատերիալի տերմիկ հարցերը:

Հեղինակը մի շարք փաստերի հիման վրա կարծում է, որ արտափոխված մատերիալի ջերմաստիճանը եղել է մոտավորապես 650—900° սահմաններում:

