

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

В Ы П У С К

33

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ФАН“ УЗБЕКСКОЙ ССР

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ
имени В. Д. ЖУРИНА

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК 33

ГИДРОЛОГИЯ, ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ФАН» УЗБЕКСКОЙ ССР
ТАШКЕНТ—1967

В сборнике обобщены результаты исследований по использованию водноэнергетических ресурсов рек Средней Азии, приводится расчет и количественная характеристика испарений, освещаются вопросы учета точности стока воды. Решаются проблемы экономики оросительных систем республик.

Книга рассчитана на научных, инженерно-технических работников, проектировщиков, плановиков-экономистов и др.

Ответственный редактор

кандидат технических наук

З. Х. ХУСАН-ХОДЖАЕВ

В. П. СВЕТИЦКИЙ

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС СРЕДНЕЙ АЗИИ И ЗАДАЧИ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Развитие орошаемого земледелия, использование гидравлической энергии рек, рост промышленного и коммунального водопотребления, сопровождающегося сбросом в источники загрязненной воды, привели к тому, что вода из неограниченного дара природы превратилась в своеобразное весьма ценное сырье, ресурсы которого не безграничны. Наличие и распределение водных ресурсов на рассматриваемой территории в значительной степени определяют размещение и дальнейшее развитие отраслей народного хозяйства. Поэтому важнейшими вопросами в разрабатываемой сейчас «Генеральной схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов республик Средней Азии» являются: оценка водных ресурсов и их распределения по территории Средней Азии; выяснение требований на воду отраслей народного хозяйства по этапам развития; разработка перспективных водохозяйственных балансов и мероприятий по охране вод; выявление важнейших объектов водохозяйственного строительства и очередности их осуществления. Все перечисленные вопросы тесно связаны между собой. В данной статье основное внимание уделено одному из них — перспективным водохозяйственным балансам.

Водохозяйственные балансы разрабатываются на основе имеющихся материалов изысканий, исследований и проектных проработок без составления локальных схем¹.

Ресурсы поверхностных вод определены по данным наблюдений опорных гидрометрических станций УГМС, станций эксплуатационной гидрометрии органов водного хозяйства и др. ведомств. Стоковые материалы использованы по 1961 г. включительно, за основу был принят расчетный ряд в 23 года (1937—1961 гг.), репрезентативный по отношению к многолетнему. Короткие ряды были удлинены и приведены к расчетному. Количественные характеристики водных ресурсов определены в границах республик Средней Азии. Они подразделены на три группы: собственные, сток которых формируется в пределах республики; приходящие реки с водосборными бассейнами за пределами республики, но сток их используется в пределах границ; транзитные, крупные реки проходящие через территорию республики с частичным использованием стока в ее пределах.

¹ Генеральная схема комплексного использования и охраны водных ресурсов Узбекской, Киргизской, Таджикской и Туркменской ССР. УЗИНТИ. Саогидропроект. Ташкент, 1965.

Характеристика водных ресурсов дана по трем реальным годам: среднему с обеспеченностью, близкой к 50%, маловодному с обеспеченностью около 75% и маловодному с обеспеченностью порядка 95%. Годы расчетной обеспеченности принимались едиными по бассейну в целом, по части бассейна или по суммарным данным наиболее крупных рек рассматриваемого бассейна.

Ресурсы поверхностных вод каждой республики получены как сумма ресурсов отдельных бассейнов или групп рек в пределах ее границ.

Ресурсы подземных вод определены специализированными организациями. Размеры их по отношению к поверхностным водам часто невелики, используются они главным образом для водоснабжения промышленности, населения и обводнения.

Основные водопотребители в республиках Средней Азии — сельское хозяйство (орошение, обводнение, сельскохозяйственное водоснабжение), промышленность и населенные пункты городского типа.

Размеры водопотребления сельского хозяйства определены проектными институтами (Средазгипроводхоз, Таджикгипроводхоз, Киргизгипроводхоз и Туркменгипроводхоз) в соответствии с нормативами и инструкциями специализированных организаций. При этом в маловодные годы обеспеченность 95% нормы водопотребления на орошение снижалась на 20%.

Потребности на водоснабжение промышленности и коммунально-бытовое потребление населенных пунктов определены проектными организациями (Узгоспроект, Киргизгипрострой и Туркменгипрострой) по соответствующим нормам водопотребления.

Для характеристики общности гидрологических и гидрогеологических особенностей вся территория Средней Азии была разделена на 26 водохозяйственных районов с рядом участков.

Водохозяйственные расчеты выполнены Саогидропроектом по расчетным годам среднему и двум маловодным обеспеченностью 75 и 95% в среднемесечных стоках, а по водообеспеченным районам — в годовых.

В водохозяйственных балансах приходной части учтено водопотребление вышерасположенных районов, а также возвратные воды от орошения и водоотведения коммунально-бытового и промышленного водоснабжения. В отдельных водохозяйственных районах, с крупным рельефом, учтено повторное использование поверхностных вод в размере 10% от водозабора.

Возможности использования подземных вод, в основном для водоснабжения, учитывались путем снижения водопотребления поверхностного стока¹.

По принятым основным положениям для составления водохозяйственных балансов имеются замечания:

1) при определении водных ресурсов не дана оценка возможным их изменениям в связи с сельскохозяйственным освоением земель в водосборной части бассейнов и развитием регулирования на многочисленных мелких водотоках;

2) расчетные годы по главной реке и притокам приняты разные, что несколько искажает оценку водных ресурсов поверхностных вод;

3) при определении ресурсов подземных вод не введена корректура на возвратные воды с орошаемых земель, учитываемых в приходной части балансов. Можно полагать, что к 1970 г. их будет около 2—2,5 км³;

¹ Водный баланс Аральского моря на первом этапе составления Генеральной схемы не рассматривался.

4) изученность подземных вод во многих районах недостаточная и количественную оценку их следует считать ориентировочной;

5) принятые оросительные нормы не могут рассматриваться как оптимальные, в ряде районов они завышены (Нижне-Кафирниганская, Вахшская, Шуроабадская оросительные системы и др.), а в некоторых занижены (Пархар-Чубекская, Кзыл-Яхсуйская, Ходжабакирганская оросительные системы и др.);

6) не отражена тенденция к снижению оросительных норм в связи с мероприятиями по улучшению эксплуатации оросительных систем (повышение к.п.д., армирование);

7) принятые нормативы количественной оценки возвратных вод с орошаемых земель не дифференцированы и недостаточно обоснованы.

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС СРЕДНЕЙ АЗИИ¹

Водохозяйственные расчеты на территории Средней Азии выполнены для трех расчетных уровней (1962, 1965 и 1970 гг.) по трем характерным годам (50, 75 и 95% обеспеченности). Они выполнялись по бассейнам рек с учетом водохозяйственного районирования и границ республик.

Общая площадь территории, занимаемой четырьмя Среднеазиатскими республиками, составляет 1,24 млн. км², на которой проживает 13,7 млн. чел. На уровне 1970 г. прогнозируется увеличение населения до 18,6 млн. чел.

Орошаемая площадь в 1962 г. составляла 4,13 млн. га, к 1970 г. возрастет до 6,4 млн.

Общие водные ресурсы республик Средней Азии по среднему году составляют 127,6 км³, из них поверхностные воды — 110,4 км³ (86,5%) и подземные — 17,2 км³ (13,5%); на сопредельных территориях Афганистана и Ирана они оцениваются в 25,7 км³.

Большая часть водных ресурсов сосредоточена в бассейнах Амударьи (73,3 км³) и Сырдарьи (34,1 км³).

По территории они распределены весьма неравномерно: на долю Узбекской ССР приходится 15,6%, Киргизской ССР — 41,5, Таджикской ССР — 42, Туркменской ССР — только 0,7%.

Основным водопотребителем в Средней Азии является сельское хозяйство. В 1962 г. оно потребляло 70 км³ воды, из них на орошение 69,6, на обводнение и сельскохозяйственное водоснабжение — 0,4. К 1970 г. водопотребление возрастет до 97,3 км³, из них на орошение 96,1, на обводнение и сельское водоснабжение 1,2.

На водоснабжение промышленности и коммунально-бытовое потребление населенных пунктов в 1962 г. было израсходовано воды 2,2 км³, на 1970 г. планируется 5,7 км³, в том числе из поверхностных вод — 1,7, подземных — 4,0.

Несмотря на небольшой удельный вес водопотребления промышленностью и населением оно предъявляет высокие требования к качеству воды, бесперебойности в подаче и гарантированности удовлетворения потребности и в маловодные годы 95% обеспеченности.

Потребности на покрытие безвозвратных потерь водным транспортом, рыбным хозяйством и др. отраслями народного хозяйства, в условиях Средней Азии, весьма малы и специально не учитываются.

Таким образом, общее водопотребление всеми отраслями народного хозяйства республик Средней Азии с учетом потерь при регули-

¹ В пределах СССР, Афганистана и Ирана.

ровании стока составляет: на уровне 1962 г. — 72,1 км³, 1970—110,5, из них на долю сельского хозяйства приходится 96—97% и на удовлетворение потребностей промышленности и населения в городах и поселках 3—4%.

Результаты расчетов водохозяйственного баланса в целом по Средней Азии показали следующее:

1) имеющиеся ресурсы поверхностных вод в средний по водности год достаточны для покрытия потребностей республик Средней Азии на всех расчетных уровнях;

2) в маловодные годы 75% обеспеченности на уровне 1970 г. является дефицит поверхностных вод в размере 5,1 км³, который может быть покрыт за счет частичного многолетнего регулирования стока и использования подземных вод;

3) в годы 95% обеспеченности, при снижении водопотребления на 20%, на уровне 1970 г. дефицит достигает 7,8 км³, покрытие его возможно аналогичным путем;

4) для обеспечения покрытия водопотребления в критические по водности месяцы необходимо сезонное регулирование стока на уровне 1962 г.;

5) покрытие дефицита в эти годы в группе маловодных двухлетий, трехлетий и более возможно лишь при осуществлении многолетнего регулирования стока и интенсивного использования подземных вод.

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС ТАДЖИКСКОЙ ССР

Таджикская ССР занимает территорию в 143 тыс. км², $\frac{2}{3}$ которой приходится на горы и $\frac{1}{3}$ на равнинную часть. Население в 1962 г. составляло 2 млн. чел., к 1970 г. оно увеличится до 2,6 млн. чел. Орошаемая площадь в 1962 г. занимала 418 тыс. га, к 1970 возрастет до 687 тыс.

Республика богата водными ресурсами, но распределены они неравномерно: в южной части значительны, а в северной крайне малы.

По среднему году (50%) в ее пределах формируется 51,1 км³ поверхностных вод; из других республик приходит 19,4 и уходит 67,7 км³. В маловодный год (95%) они составляют соответственно 39,2; 13,2 и 48,8 км³. Потенциальные запасы подземных вод составляют около 2,5 км³.

В 1962 г. из общего водопотребления (7,93 км³ воды) на долю сельского хозяйства приходилось 7,7 км³ (97%) и на водоснабжение промышленности и населения 0,24 км³ (3%). На 1970 г. намечается общее водопотребление 12 км³, в том числе на сельское хозяйство 11,3 и на водоснабжение промышленности и населенных пунктов 0,7.

Для проведения водохозяйственных расчетов территория республики была разделена на 10 районов с 13 участками.

Значительное превышение стока рек Пяндж, Вахш, Зарафшан и бессточного озера Каракуль над потребностью в воде, позволило в четырех районах обойтись без подробных расчетов. В остальных районах водохозяйственные расчеты и балансы выполнялись в годовых стоках, а также и за напряженные месяцы для орошения по годам 50, 75 и 95% обеспеченности на три расчетных уровня (1962, 1965 и 1970 гг.).

Расчеты водохозяйственного баланса показали необходимость сезонного регулирования стока на уровнях 1965 и 1970 гг. в Верхнесырдарьинских, Кафирниганском и Сурхандарьинском районах. При этом в Ферганской долине регулирование стока должно сочетаться с кольцеванием отдельных систем и водотоков.

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС КИРГИЗСКОЙ ССР

Территория республики составляет 200 тыс. км², из них 90% занимают горы. Численность населения в 1962 г. была 2,07 млн. чел., а на 1970 г. ожидается увеличение до 2,7 млн. чел.

Общая площадь пригодных к орошению земель составляет 1738 тыс. га, из которой в 1962 г. использовалось 862 тыс. га. К 1970 г. орошаемые земли увеличатся до 1018 тыс. га.

Ресурсы поверхностного стока республики, формирующиеся в ее пределах, составляют по годам 50, 75 и 95% обеспеченности соответственно 49,2; 40,8 и 34,8 км³, а сток, выходящий за ее пределы, по тем же годам — 42,5; 34,8 и 29,3 км³.

Потенциальные ресурсы подземных вод — 3,9 км³.

Сельское хозяйство потребляет 97%, промышленность и население — около 3% от общего водопотребления. В 1962 г. расход воды составил 6,7 км³, на 1970 г. планируется увеличение его до 9,1 км³.

Наличие значительных собственных водных ресурсов в пределах республики позволяет считать ее водообеспеченной. Однако неравномерное распределение поверхностного стока по территории в течение года вызывает необходимость проведения сезонного регулирования стока и кольцевания отдельных систем и водотоков. Так, на юге сезонное регулирование стока по отдельным мелким водотокам необходимо на уровне 1965 г. Поэтому намечено строительство трех небольших водохранилищ (Папанское — 73 млн. м³, Найманское — 40 и Торткульское — 80).

На севере республики проводится регулирование стока р. Чу Ортокойским водохранилищем емкостью 470 млн. м³. В 1970 г. потребуются дополнительная регулирующая емкость на р. Чу порядка 275 млн. м³ и на р. Талас около 500 млн. м³.

По Таласскому водохозяйственному району территория Киргизской ССР обеспечена бытовым стоком р. Талас, для Казахской же части необходимо перерегулирование его на уровне 1965 г. Потребная регулирующая емкость в 1965 г. составляла около 150 млн. м³, а к 1970 г. — порядка 500 млн. При этом на уровне 1970 г. по маловодному году (75% обеспеченности) дефицит не покрывается и при регулировании стока, потребуются переброска его из других бассейнов.

По Чуйскому водохозяйственному району необходимо регулирование стока как для Киргизской, так и для Казахской частей на уровне 1962 г., которое и выполняется Ортокойским водохранилищем. К 1970 г. потребуются ввести дополнительно для Киргизской части района регулируемую емкость в 300 млн. м³ и для Казахской около 600.

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС УЗБЕКСКОЙ ССР

Узбекская ССР занимает территорию в 409 тыс. км², 70% которой приходится на равнины. Население республики в 1959 г. составляло 8,1 млн. чел., к 1970 г. прогнозируется увеличение до 11,2 млн.

В республике около 6 млн. га пригодных для орошения, из них в 1962 г. использовалось 2,42 млн. На 1970 г. планируется довести орошаемую площадь до 3,91 млн. га.

Ресурсы поверхностных вод Узбекской ССР по году 50% обеспеченности составляют: собственные — 9,92 км³, приходящие — 30,8 и транзитные — 64,5 км³, а по маловодному году (95% обеспеченности) соответственно 6,22, 22,5 и 42,1 км³. Потенциальные ресурсы подземных вод оцениваются в 10,1 км³.

Сельское хозяйство потребляет 97% расходуемой воды, остальные три — промышленность и население.

Общее водопотребление в республике в 1962 г. составляло 47,1 км³, из них на орошаемое земледелие — 45,5, на обводнение пастбищ и сельскохозяйственное водоснабжение — 0,26, водоснабжение промышленности и городов 1,37 км³. На 1970 г. планируется довести водопотребление до 71,6 км³, из них на ирригацию 67, обводнение 1,0 и водоснабжение 3,6 км³.

Необходимо отметить, что водопотребление на орошение по Узбекской ССР определялось двумя проектными организациями: Средазгипроводхозом и Средазгипроводхлопком. В водохозяйственных расчетах использованы результаты определения водопотребления последней, так как они согласованы с заинтересованными республиками (Узбекской, Таджикской, Киргизской и Казахской).

Расчеты водохозяйственных балансов для территории Узбекской ССР показали, что во всех водохозяйственных районах имеется напряженность в водообеспечении и требуется регулирование стока на уровне 1970 г., а по некоторым районам — 1965 г.

Ферганский балансовый район (земли УзССР, ТаджССР и КиргССР). Здесь на уровне 1970 г. необходимо регулирование стока с емкостью водохранилищ около 670 млн. м³ и кольцевание отдельных систем. Кампырраватское водохранилище емкостью 1,6 км³, которое будет построено к 1970 г., полностью обеспечит регулирование стока.

Чирчик-Ангрен-Келесский балансовый район (земли УзССР, КиргССР и КазССР). Выявлена необходимость регулирования на уровне 1965 г., которое обеспечивается Тюябугузским водохранилищем емкостью 0,2 км³. К 1970 г. потребуется дополнительная регулирующая емкость, которая будет обеспечена вводом в эксплуатацию Чарвакского водохранилища.

Сырдарьинский балансовый район (земли УзССР, КазССР и ТаджССР). Установлена необходимость регулирования стока на уровне 1965 г. общей емкостью 2,3 км³, которое обеспечивается действующим Кайраккумским водохранилищем, емкостью 2,5 км³. На уровне 1970 г. потребуется более глубокое сезонное регулирование и частично многолетнее для обеспечения водоподачи в перебойные годы. Общая регулирующая емкость должна быть не менее 7 км³.

Вводимое в эксплуатацию в 1965 г. Чардаринское водохранилище емкостью 4,7 км³ вместе с Кайраккумским, обеспечит сезонное регулирование. Однако в годы маловодных двухлетий, трехлетий и более они не обеспечат гарантированной отдачи и возможны перебои. Поэтому необходимо ускорить строительство Токтогульского водохранилища для многолетнего регулирования стока.

Зарафшанский балансовый район (земли УзССР и ТаджССР). В водохозяйственных расчетах района водопотребление Таджикской территории (орошение 12,5 тыс. га) учтено за счет снижения стока Зарафшана в створе ниже устья р. Магиандарьи. В расходной части баланса, кроме водообеспечения Самаркандской и Бухарской областей, учтено также подпитывание Кашкадарьи и Санзара.

Установлено наличие дефицита для Самаркандской области на уровне 1965 г. в размере 234 млн. м³ и к 1970 г. 371 млн. м³. Вопрос о покрытии дефицита может быть решен осуществлением многолетнего регулирования стока Зарафшана, которое предотвратит бесполезные сбросы вод в низовья.

Кашкадарьинский балансовый район. Водохозяйственные балансовые расчеты выявили дефицит стока на всех расчетных

уровнях (1962, 1965 и 1970 гг.). На уровне 1970 г. дефицит в верхнем течении Кашкадарьи может быть снижен за счет регулирования стока и подачи воды из Зарафшана, а в нижнем — в результате подачи воды из Амударьи.

Сурхандарьинский балансовый район (земли УзССР и ТаджССР). В результате разработки водохозяйственного баланса бассейна Сурхандарьи установлен дефицит стока, который может быть покрыт за счет дополнительной регулирующей емкости к действующему Южно-Сурхандарьинскому водохранилищу. Кроме этого, для предотвращения перебоев в критические по водности месяцы необходима подача воды из р. Кафирниган по Гиссарскому каналу.

Амударьинский балансовый район (среднее и нижнее течение Амударьи). Водохозяйственные расчеты выполнялись в привязке к створу Керки для покрытия потребностей в воде УзССР и ТуркмССР. При этом на уровне 1970 г. приток к створу Керки исправлен на дополнительные отборы воды в связи с развитием орошения в верхней части бассейна, в том числе по Афганистану 50 тыс. га нового орошения. Эта поправка к 1970 г. составила 2,1 км³.

При определении водопотребления на уровне 1970 г. в среднем течении преобладающей культурой принят хлопчатник (до 64%), в нижнем — увеличение посевов риса. Вопрос о развитии рисосеяния был рассмотрен в двух вариантах. В первом принята площадь под посевами риса в 350 тыс. га, для водообеспечения которой требовалось сезонное регулирование, емкостью около 10 км³, осуществление его к 1970 г. невозможно.

Проработка вопроса о наиболее эффективном и реальном размещении сельскохозяйственных культур в бассейне Амударьи привела к значительному снижению намечавшихся посевов риса в низовьях. Во втором, принятом, варианте площадь под рисом составляет 176 тыс. га. В этом случае потребуется регулирующая емкость в 5—6 км³, что может быть осуществлено строящимся Нурекским и проектируемым Тюямуюнским водохранилищами.

При разработке водохозяйственного баланса Амударьи обращалось внимание на развитие орошения по Каракумскому каналу, где имеются значительные потери стока. Сравнивалось водопотребление по Каракумскому и Каршинскому каналам на уровне 1970 г., которое показало, что оросительные нормы брутто по Каракумскому каналу в 2,7 раза выше, чем по Каршинскому. В связи с этим необходимо ускорить рассмотрение вопроса о размещении орошаемых площадей в бассейне и выборе схемы орошения по Каракумскому каналу.

Кызылкумский балансовый район. Расположен в пустыне Кызылкума, в пределах УзССР, где поверхностные водные ресурсы отсутствуют. Заявленная потребность для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ в 200 млн. м³ может быть удовлетворена за счет использования подземных вод.

Для разработки мероприятий по наиболее эффективному использованию подземных вод необходимо проведение разведок и изучение их запасов.

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС ТУРКМЕНСКОЙ ССР

Туркменская республика занимает обширную территорию в 488 тыс. км², что составляет около 40% от территории Средней Азии. Большая часть земель (80%) приходится на пустыни, наиболее крупная из них — Каракумы площадью 350 тыс. км². Численность населе-

ния на уровне 1962 г. составляла 1,52 млн. чел., к 1970 г. прогнозируется увеличение до 2,1 млн.

Земель, пригодных к орошению, в ТуркмССР — 3,9 млн. га, из них до 1962 г. орошалось 433 тыс., к 1970 г. планируется увеличение до 739 тыс. га.

Собственные водные ресурсы республики крайне малы. Поверхностные водные ресурсы (км³) приведены ниже.

Ресурсы	Обеспеченность, %		
	50	75	95
Собственные	0,165	0,141	0,104
Приходящие	2,70	2,57	1,61
Транзитные	65,1	55,8	47,4

Потенциальные ресурсы подземных вод составляют 0,79 км³, из них используется сейчас 0,35 км³.

Водопотребление на уровне 1962 г. составляло 10,5 км³, на 1970 г. намечается увеличение до 17,8 км³.

Большая часть воды расходуется для удовлетворения потребностей сельского хозяйства (95%), на долю промышленности и коммунально-бытовые нужды приходится 5%. Потребности республики намного превышают собственные ресурсы поверхностных вод и могут быть удовлетворены за счет транзитных вод Амударьи.

При составлении водохозяйственных балансов на уровне 1970 г. учитывалось возможное развитие орошения в Иране и связанное с этим уменьшение стока р. Теджен на 1/2 по сравнению с современным. Сток р. Мургаб принимался в размерах, фиксируемых на границе.

Напряженное положение с водообеспечением отмечено в Верхне- и Нижне-Каракумских водохозяйственных районах выше зоны командования Каракумского канала и Каракумско-песчаном, где поверхностные ресурсы отсутствуют. Здесь большое значение приобретают подземные воды. Однако они изучены недостаточно.

Водохозяйственный баланс Мургабского и Тедженского участков с учетом регулирования существующих водохранилищ на уровне 1962 г. не имеет дефицита. Коммунально-бытовое водоснабжение базируется на подземных водах и периодически действующих водотоках. Некоторый дефицит на уровне 1970 г. может быть покрыт за счет снижения высоких оросительных норм и интенсивного использования подземных вод.

Водохозяйственный баланс Прикопетдагского и Небитдагского участков имеет дефицит на всех расчетных уровнях. Он может быть покрыт при использовании ресурсов подземного стока, которые должны быть хорошо разведаны и изучены.

Следует отметить, что принятый Саогидропроектом принцип составления балансов по водохозяйственным районам и участкам полностью не реализован, часто расчеты производились по бассейнам рек. На наш взгляд, водохозяйственное районирование можно использовать лишь для определения водопотребления, распределение водных ресурсов и разработку самого водохозяйственного баланса следует производить по бассейновому принципу, не стесняя себя границами районов и республик.

Сопоставление имеющихся водных ресурсов и водопотребления в естественных границах речных бассейнов позволит избежать их искусственного разделения и наиболее целесообразно решить поставленную задачу.

ЗАДАЧИ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате анализа выполненных водохозяйственных расчетов для обоснования Генеральной схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов республик Средней Азии на первом этапе выдвигаются следующие задачи дальнейших исследований, разрешение которых крайне необходимо для разработки второго этапа Генеральной схемы:

1) исследование изменений стока главнейших рек Средней Азии под влиянием хозяйственной деятельности в их бассейнах;

2) исследование возвратных вод;

3) увязка стоковых характеристик по длине Амударьи и Сырдарьи;

4) изучение потенциальных ресурсов подземных вод в малоисследованных районах;

5) уточнение прогнозных ресурсов подземных вод, возможных к использованию;

6) исследования по обоснованию норм расчетной обеспеченности водопотребления в орошаемом земледелии;

7) исследования по уточнению оросительных и поливных норм основных сельскохозяйственных культур;

8) исследования по наиболее целесообразному размещению сельскохозяйственных культур в бассейнах Амударьи и Сырдарьи;

9) научная разработка мероприятий по улучшению водопользования на землях старого орошения;

10) разработка ряда локальных схем, необходимых для решения основных вопросов Генеральной схемы на втором этапе (развитие орошения в зоне Каракумского канала, кольцевание водотоков и ирригационных систем в Ферганской долине, использование возвратных вод в устьях Амударьи и Сырдарьи).

Ф. Э. РУБИНОВА

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ПО ТЕРРИТОРИИ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ

Пространственное распределение осадков на исследуемой территории характеризуется данными 59 метеостанций и постов, с периодом наблюдений от 68 до 2 лет¹.

Распределение пунктов наблюдений за осадками на исследуемой территории крайне неравномерно. Наиболее

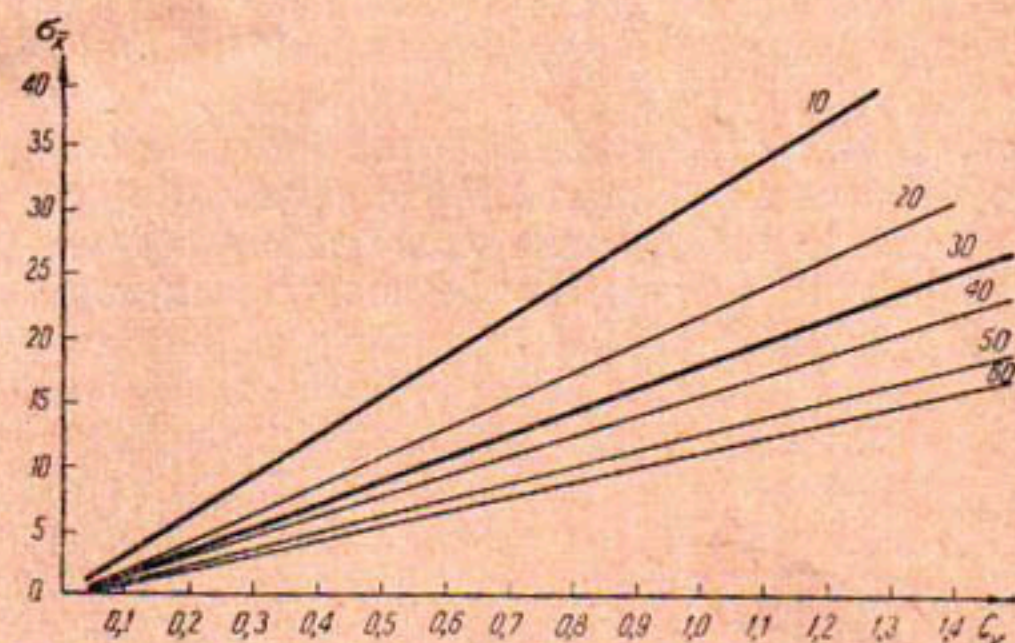


Рис. 1. Зависимость среднеквадратической ошибки нормы от числа лет наблюдений и C_v .

плотно они расположены в восточной и юго-восточной, наименее — в центральной и северо-западной частях долины. Поэтому большая изменчивость норм осадков (от 82 на посту Бешбаш до 795 на ст. Джергитал) и сравнительно короткие ряды наблюдений создают значительные трудности при картировании атмосферных осадков. Так как по большинству пунктов период наблюдений равен 10 годам, мы для расчета нормы осадков прежде всего определили репрезентативность десятилетнего периода (1953—1960 гг.).

Проверка гипотезы о виде закона распределения годовых сумм осадков во времени, осуществленная совместно с М. И. Геткером по данным метеостанций (Ташкент, Джизак, Самарканд, Термез, Фергана, Наманган, Андижан) с периодом наблюдений от 51 до 77 лет на 10%-ном уровне значимости, показала применимость нормального закона распределения.

В практике статистических расчетов принято, что при распределении случайных величин, близком к нормальному, ошибка определения среднего равна (рис. 1) $\sigma_x = \frac{C_v}{\sqrt{n}}$,

где: σ_x — средняя квадратическая ошибка среднего эмпирического ряда по сравнению с математическим ожиданием;

C_v — коэффициент вариации ряда;

¹ По 42 пунктам (71%) продолжительность наблюдений равна и превышает 10 лет; по 12 (20%) — 30 лет; по двум (3,4%) — более 60 лет.

n — число членов ряда (период наблюдений).

Из рис. 1 видно, что при диапазоне коэффициентов вариации осадков 0,20—0,40 (наиболее характерном для данных условий) для определения нормы осадков с точностью $\pm 5\%$ необходимо от 15 до 40 лет наблюдений.

При десятилетнем ряде средняя ошибка вычисления нормы при $C_v=0,20$ составляет 6%, а при $C_v=0,40$ (слой осадков менее 100 мм) — 12,5%.

Между коэффициентом вариации осадков и их нормой существует определенная зависимость (рис. 2), согласно которой коэффициент

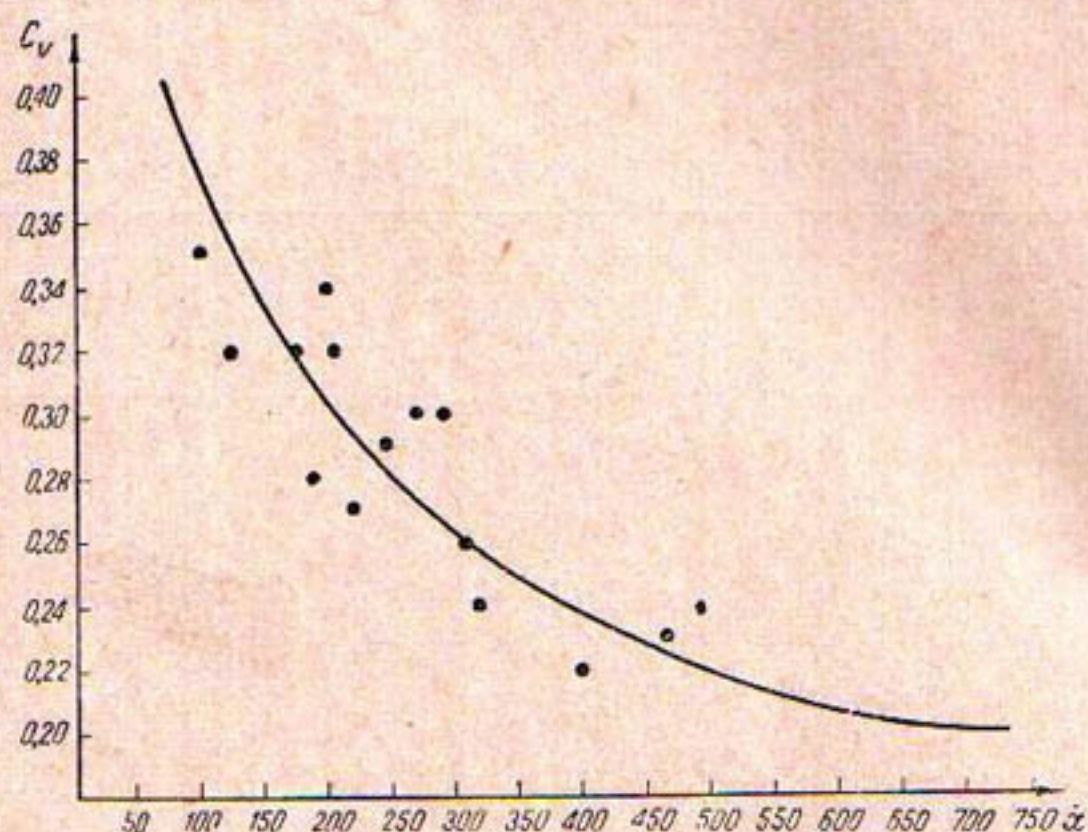


Рис. 2. Зависимость коэффициента вариации осадков от их среднего.

вариации меняется от 0,38 при слое осадков 100 мм до 0,20 при $X=650$ мм.

Таким образом, при C_v , равном 0,20—0,38, и десятилетнем периоде наблюдений средняя ошибка в норме осадков равна следующим величинам:

X , мм	C_v	σ_x (%) при		
		$n=10$	$n=30$	f , %
100	0,38	12,0	6,5	5
150	0,34	10,5	6,0	20
200	0,30	10,0	5,5	20
250	0,28	9,5	5,0	15
300	0,26	8,0	4,5	15
350	0,25	7,5	4,4	10
400	0,24	7,5	4,2	7
500	0,22	7,0	3,8	6
550	0,21	6,5	3,6	1
650	0,20	6,0	3,5	1

При десятилетнем ряде наблюдений средняя ошибка вычисленной нормы осадков на 75% исследуемой площади не превышает 10%. Если предположить, что норма здесь определена с ошибкой одного знака, то средневзвешенное значение σ_x при десятилетнем ряде наблюдений составит 9%.

При расчете средних за отдельные периоды, в зависимости от группировки маловодных и многоводных лет в принятом расчетном интер-

вале, ошибки в определении нормы могут быть больше и меньше средней. Поэтому при расчете репрезентативности принятого периода надо исходить из конкретных рядов наблюдений.

Мы располагаем данными нескольких пунктов, расположенных в разных частях описываемой территории с периодом наблюдений более 50 лет. Средние осадки, вычисленные за этот период, можно, очевидно, считать близкими к истинным (согласно рис. 1 при $n > 50$ σ_x не превышает $\pm 15\%$ при $C_r < 0,4$).

Среднее за принятое в качестве расчетного десятилетие не отклоняется от нормы за 30-летний период более чем на 7,7% (таблица). Приблизительно в 80% случаев разница в средних за 1933—1963 гг. и 1953—1962 гг. не превышает 5% от нормы за 1933—1963 гг.

Нормы осадков за разные расчетные периоды

Пункт	Среднее за период превышающий 50 лет ($\bar{X}$)	Среднее за 1933—1963 гг. (X_0)	Среднее за 1953—1962 гг. (X'_0)	$\frac{X_0 - \bar{X}}{\bar{X}} \cdot 100\%$	$\frac{X'_0 - X_0}{X_0} \cdot 100\%$
Кировская	—	105	101	—	—3,8
Коканд	—	132	135	—	+2,3
Наманган	236	204	213	-1,0	4,4
Фергана	200	200	187	0,0	-6,5
Андижан	269	288	297	7,1	3,1
Байтоқ	—	318	324	—	1,9
Джержитал	—	738	795	—	7,7
Ош	—	408	404	—	-1,0
Караван	—	308	307	—	-0,3

Сопоставление тридцатилетнего ряда с данными более длительных наблюдений (Наманган—61 год, Фергана—67 лет и Андижан—51 год) показало в общем хорошую сходимость средних. Это обстоятельство, а также значительная вариация осадков на площади, позволяющая отдать предпочтение большему количеству коротких рядов по сравнению с меньшим количеством с более длительными наблюдениями, побудило нас принять в качестве расчетного интервала десятилетие 1953—1962 гг.

Средние по станциям, имеющим пропуски в наблюдениях, приведены к расчетному периоду путем сравнения с соседними станциями, которые имеют полный ряд заведомо однородных наблюдений.

Критерий использования станции (В) в качестве аналога для приведения к нему данных по другой станции (А), имеющей неполный ряд: изменчивость разностей между соответствующими суммами осадков на этих двух станциях должна быть меньше вариации осадков на восстанавливаемой станции¹.

Критерием пригодности станции В для приведения к норме осадков по станции А является то, что $\frac{\sum (a_i - \lambda b_i)^2}{\sum (a_i - \bar{a})^2}$ значительно меньше единицы; здесь a_i — годовые суммы осадков за n лет на неполной станции А; b_i — годовые суммы осадков за те же годы на станции приведения В; $\lambda = \frac{\sum a_i}{\sum b_i}$.

¹ К. Брукс, Н. Карузерс. Применение статистических методов в метеорологии, Л., Гидрометеониздат, 1963.

Для эффективного восстановления осадков одной станции по данным другой требуется, чтобы величина этого критерия была меньше: при $n=5$ лет — 0,50; 10 лет — 0,64; 20 лет — 0,74; 30 лет — 0,77.

Если данные станции В удовлетворяют этому критерию, то приводимую норму для пункта А получаем, умножая среднюю сумму осадков в В за весь период наблюдений на коэффициент λ .

Описанным способом восстановлены средние годовые суммы осадков по станциям, имеющим неполный ряд наблюдений.

Исследованиями Главной геофизической обсерватории установлено, что при измерении осадков современными стандартными приборами возникает ряд систематических ошибок. Основные источники их — искажение ветрового режима вокруг приемной части прибора, потери собранных осадков на смачивание осадкомерного ведра и испарение из него.

Предварительными исследованиями установлено, что потери на смачивание осадкомерного ведра в 42% случаев превышают 10%, а в 18—15% годовой суммы измеренных осадков. В целом для исследуемой территории поправки на смачивание составляют 12% от годовой суммы измеренных осадков.

Ветровая поправка, согласно исследованиям автора, в 77% случаев колеблется в пределах 3—5%, а в 17 — больше 5% от измеренной суммы осадков.

Потери на испарение из осадкомерного ведра, по нашим предварительным проработкам (совместно с М. Д. Лазаревой), в 55% случаев больше 6% от измеренной годовой суммы осадков.

При расчете норм осадков учтены поправки на искажение ветрового режима и смачивание осадкомерного ведра.

Потери на смачивание (δ_c) определялись по формуле ГГО:

$$\Delta q = 0,2M,$$

где Δq — потери на смачивание, мм,

M — число измерений осадков в году.

Ветровая поправка δ_v определена по связи δ_v со среднегодовой скоростью ветра (по флюгеру). На постах, где скорость ветра не измеряется, она принята средней для данного района¹.

Поправка на испарение не вводилась, ввиду того, что зависимость испарения от дефицита не доведена до расчетной.

Итак, при построении карты в измеренные годовые суммы атмосферных осадков введены поправки на смачивание (δ_c) и ветер (δ_v), равные для всей исследуемой территории в среднем за 10 лет 16%.

Карта изогнет атмосферных осадков получена для территории, боковые контуры которой определены по границе между горной и равнинной частями по гипсометрической и геологической картам.

За равнинную часть бассейна принималась территория, выполненная современными четвертичными отложениями. В устьях рек (при выходе их из гор) граница проведена по опорным гидрометрическим постам, расположенным выше основного водозабора.

При изучении пространственного распределения осадков здесь наблюдается определенная закономерность.

С увеличением географической широты и высоты пункта количество осадков возрастает; с запада на восток сначала уменьшается, а затем, начиная примерно с меридиана, проходящего через ст. Кировская, возрастает. Это позволило определить количество осадков в пунк-

¹ Подробнее о введении поправок к измеренной сумме осадков см. в статьях автора, помещенных в этом сборнике.

те как функцию трех переменных $\bar{X} = f(\lambda; \varphi; H)$,
где H — высота пункта наблюдений, м;

φ — географическая широта пункта в условных единицах (в пределах исследуемой территории меняется от 3 до 97);

λ — географическая долгота в условных единицах (меняется от 18 до 65);

$\bar{X}$ — среднегодовая сумма атмосферных осадков.

Для построения зависимости использованы данные 35 метеостанций и постов, расположенных на дне Ферганской долины.

Предгорные пункты (к ним условно отнесены станции и посты, расположенные выше 700 м) при выявлении зависимости не использовались, так как на них, помимо географической и высотной зональности, большое влияние оказывает близость гор (эффект предвосхождения).

Поскольку с продвижением с запада на восток сумма осадков сначала падает, а затем возрастает, то зависимость $\bar{X} = f(\lambda; \varphi; H)$ строилась для двух районов. Границей между ними служит $\lambda = 100$.

Для района, расположенного восточнее $\lambda = 100$, зависимость суммы осадков от широты, долготы и высоты поста имеет вид:

$$\bar{X} = \frac{1.01^{\varphi} \lambda^{1.04} H^{0.6}}{54.2} \quad (1)$$

Частные коэффициенты корреляции осадков с широтой, долготой и высотой соответственно равны 0,61; 0,88; 0,73.

Среднее отклонение фактических осадков от вычисленных по формуле (1) составляет 5,4%. В 87% случаев отклонения не превышают 10% и лишь в 4% — больше 15% от фактической величины осадков.

Для района, расположенного западнее меридиана $\lambda = 100$, зависимость нормы осадков от определяющих ее факторов имеет вид¹:

$$\bar{X} = \frac{303 H^{0.42}}{\lambda^{0.80}} \quad (2)$$

Частные коэффициенты корреляции осадков с λ и H соответственно равны 0,97 и 0,53. Среднее отклонение фактических сумм осадков от вычисленных по формуле (2) составляет 6%; в 83% случаев отклонения не превышают 10% от фактической величины.

В целом для исследуемой территории средняя ошибка вычисления норм осадков по уравнениям (1,2) составляет 5,4; в 86% случаев ошибки меньше 10%, а 91 — меньше 15% от фактической величины.

Зависимости использованы для построения карты изолиний среднего (1953—1962 гг.) годового слоя атмосферных осадков (рис. 3).

Для этого вся исследуемая территория, расположенная ниже изогипсы 700 м, разбита на сетку с интервалом 5' по широте и долготе, в узлах которой выписаны значения

$$\bar{X} = f(\lambda; \varphi; H).$$

Дальнейшее построение карты сводилось к прямолинейной интерполяции величин, расположенных в узлах сетки.

Таким образом, наряду с использованием закона географической и высотной зональности при построении карты осадков допускалась прямолинейная интерполяция на небольшие расстояния (7—9 км). На территории, расположенной выше изогипсы 700 м, ввиду малого количества пунктов наблюдений, не позволяющего выявить закономерности

¹ Из-за ограниченного числа исходных данных (12 станций и постов) и отсутствия пунктов наблюдений зависимость $\bar{X} = f(\varphi)$ на северо-востоке района не выявлена.

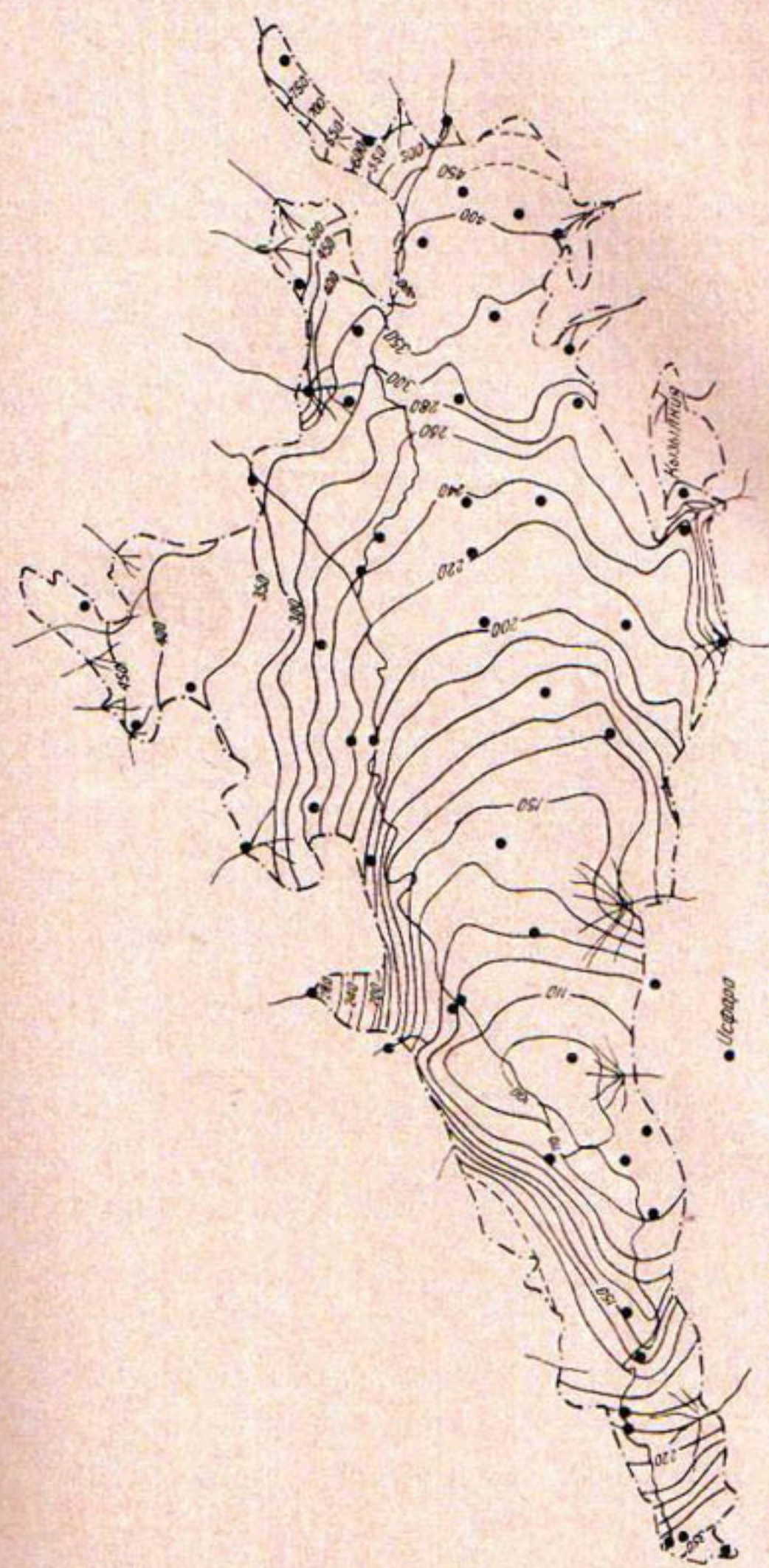


Рис. 3. Карта изолиний среднего (1953—62 гг.) годового слоя атмосферных осадков

изменения осадков с высотой, допускалась прямолинейная интерполяция между значениями осадков в узлах сетки и на метеостанциях, расположенных выше 700 м.

Следовательно, здесь изолинии осадков проведены ориентировочно. Однако вследствие того, что площадь, расположенная выше 700 м, составляет лишь 15,5% от всей исследуемой территории, вряд ли можно ожидать значительной погрешности в вычисляемой сумме атмосферных осадков для всей территории в целом.

Изолинии равных осадков проведены через 10 мм при слое меньше 200 мм; через 20 при 200—300 и через 50 мм при слое, превышающем 300 мм.

Для расчета среднегодовой суммы осадков в неизученном пункте достаточно определить его положение на карте и прямолинейной интерполяцией между смежными изолиниями определить слой осадков.

Средний слой осадков на ограниченную площадь внутри исследуемой территории можно получить, планиметрируя соответствующий участок карты. В этом случае средневзвешенный слой осадков будет равен

$$\bar{X}_F = \frac{\sum \bar{x}_i \bar{F}_i}{F}$$

где $\bar{X}_F$ — средний слой осадков на площадь F ,

$\bar{x}_i$ — средний слой осадков между двумя смежными изолиниями,

$\bar{F}_i$ — площадь между изолиниями,

F — площадь исследуемого участка.

В целом для исследуемой территории средний годовой слой атмосферных осадков составляет 251 мм. На 1,7% площади выпадают осадки менее 100 мм и на 1,2% — не более 600 мм.

На 70% площади годовая сумма осадков составляет от 100 до 300 мм.

Ф. Э. РУБИНОВА

К ВОПРОСУ О ВВЕДЕНИИ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОПРАВОК В ПОКАЗАНИЯ ОСАДКОМЕРОВ

Исследованиями Главной геофизической обсерватории выявлено, что при измерении атмосферных осадков современными стандартными приборами возникает ряд систематических ошибок. Основные источники этих ошибок — искажение ветрового режима вокруг приемной части прибора и, следовательно, недоучет выпадающих осадков, потери их на смачивание осадкомерного ведра и испарение из него. Поэтому на примере Ферганской долины мы даем оценку величин двух систематических поправок — потерь за счет искажения ветрового режима и на смачивание осадкомерного ведра.

Введение поправок на смачивание осадкомерного ведра. Экспериментальными работами ГГО установлено, что при каждом измерении на смачивание осадкомерного ведра теряется 0,2 мм осадков. Доказано, что величина потерь на смачивание мало меняется для приборов близких конструкций и не зависит от вида измеряемых осадков (жидкие или твердые). Поэтому ГГО рекомендует вводить единую поправку в показания осадкомеров и дождемеров в любое время года:

$$\delta_c = 0,2 M,$$

где δ_c — поправка на смачивание, мм,

M — число измерений осадков за принятый интервал времени.

Используя эту формулу, по данным 50 метеостанций и постов Ферганской долины, расположенных в различных условиях увлажнения, за 1953—1962 гг. (380 годостанций) подсчитаны величины потерь на смачивание:

Поправка δ_c , мм	Число случаев, (%) от общего кол-ва годостанций
5,1—10	5,6
10,1—15	14,9
15,1—20	26,3
20,1—25	21,0
25,1—30	20,2
30,1—35	8,8
больше 35	3,2

Поправки на смачивание, равные 10—30 мм ($\approx 82\%$), наиболее характерны для исследуемой территории. Если выразить их в процентах от годовой суммы измеренных осадков, то распределение последних выглядит следующим образом:

δ_c , % от годовой суммы осадков	Число случаев, % от общего кол-ва годостанций
0—5	10,6
5,1—10	47,9
10,1—15	23,0
15,1—20	11,6
20,1—30	6,1
более 30	0,8

Только в 10,6% случаев поправка на смачивание не превышает 5% годовой суммы осадков; в 42 она составляет более 10, а в 18 — больше 15.

Поправки на смачивание к месячным суммам измеренных осадков не превышают 12 мм. Если их выразить в процентах от измеренной месячной суммы осадков, то они характеризуются следующими цифрами:

Месячные δ_c , % от измеренной суммы осадков	Число случаев, % от общего кол-ва месяцестанций
менее или равные 10	51,0
10,1—20	25,8
20,1—30	8,3
30,1—40	4,2
40,1—50	2,5
50,1—60	1,2
60,1—70	1,4
70,1—80	0,7
80,1—90	0,3
90,1—100	0,8
более 100	3,8

Приблизительно в 4% случаев систематические ошибки превышают 100% от измеренной величины. Последнее бывает летом, когда сумма месячных осадков, как правило, невелика. Только в 51% случаев месячные поправки на смачивание не превышают 10% от измеренной суммы осадков, в 85% — 30%.

Главная геофизическая обсерватория для корректировки норм осадков, вычисленных по данным, включающим систематическую ошибку на смачивание, рекомендует формулу: $\Delta_a = 0,2 \text{ КД}$, где: К — коэффициент, равный отношению числа измеренных осадков

$$(М) \text{ к числу дней с осадками (Д); } K = \frac{M}{D}.$$

Так как К — чисто климатологическая характеристика, то она в среднем довольно устойчива для большинства станций, расположенных в сходных климатических условиях. В результате работы, проделанной отделом метеорологии Узбекского управления гидрометеорологической службы установлено, что в Средней Азии коэффициент К меняется в пределах 1,8—2,5.

Таким образом, по методике ГГО для корректировки годовых норм осадков необходимо знать К и число дней с осадками Д, которое может быть получено из годовых выводов ежегодников или справочников.

Для описываемого района средняя годовая величина поправки на смачивание может определяться непосредственно по зависимости $\delta_c = f(\bar{X})$, полученной по осредненным данным за 10 лет (по 22 станциям, расположенным в различных частях Ферганской долины).

Эта зависимость (рис. 1) позволяет получать потери на смачивание непосредственно по годовой сумме осадков.

$$\delta_c = 907,8 \bar{X}^{-0,83} \quad (1)$$

Потери на смачивание по этой зависимости определяются со средней ошибкой, равной 1,7 мм.

Кроме кривой $\delta_c = f(\bar{X})$ для определения среднемноголетней поправки на смачивание может служить карта средних потерь, выраженных в процентах от годовой суммы измеренных осадков, построенная по данным 50 метеостанций и постов (рис. 2). Из рис. 2 видно, что наибольшими относительными потерями характеризуется район Коканда — Акджара.

В целом для исследуемой территории потери на смачивание составляют 12% от годовой суммы измеренных осадков.

При составлении баланса территории могут использоваться не только средние многолетние осадки, но и осадки за отдельные годы,

поэтому зависимость $\delta_c = f(X)$ имеет важное значение (рис. 3). Разброс точек на графике, построенном по

данным 30 станций за 1953—1962 гг., довольно велик, особенно при слое измеренных осадков менее 350 мм (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что зависимость $\delta_c' = f(X)$ может быть получена со средними ошибками от $\pm 1,6$ до $\pm 5,2$ мм, а разница между максимальным и минимальным значениями δ_c' в одном интервале осадков может превышать среднюю величину поправки. Это говорит против использования зависимости $\delta_c' = f(X)$ для расчетов, особенно при слое измеренных осадков менее 350 мм.

Коэффициент K также не может быть использован для введения поправок на смачивание в отдельные годы.

При введении поправок в месячные величины атмосферных осадков разница в значениях K , а следовательно, и Δ_q может достигать 100%.

Зависимость $\delta_c'' = f(X)$ также не может быть расчетной. Только в первом приближении можно считать в среднем за 10-летие (1953—1962 гг.) поправки на смачивание равными величинам, данным в табл. 2.

Следовательно, поправки на смачивание за конкретные годы и месяцы могут быть определены достаточно точно лишь непосредственным подсчетом числа измерений осадков (M). В этом случае поправка $\Delta_q = 0,2 M$. Только в первом приближении можно использовать таблицы 1 и 2.

Введение поправок на искажение ветрового режима вокруг приемной части прибора. Одна из основных систематических ошибок при из-

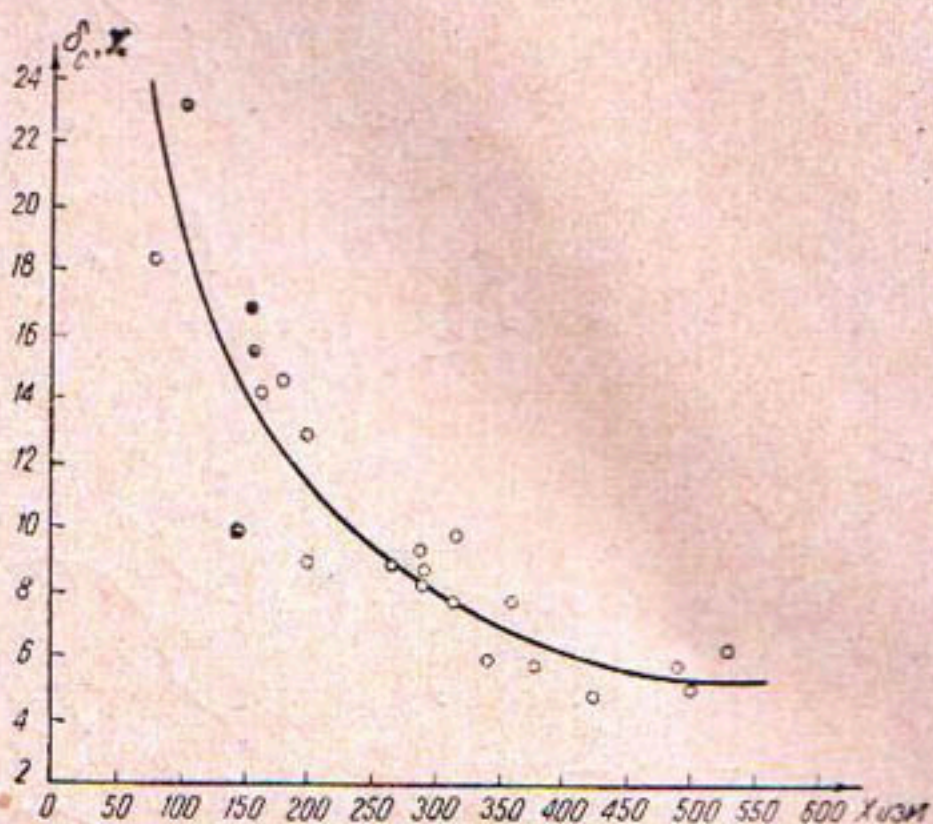


Рис. 1. Зависимость среднегодовой величины поправки на смачивание от средней суммы измеренных осадков.

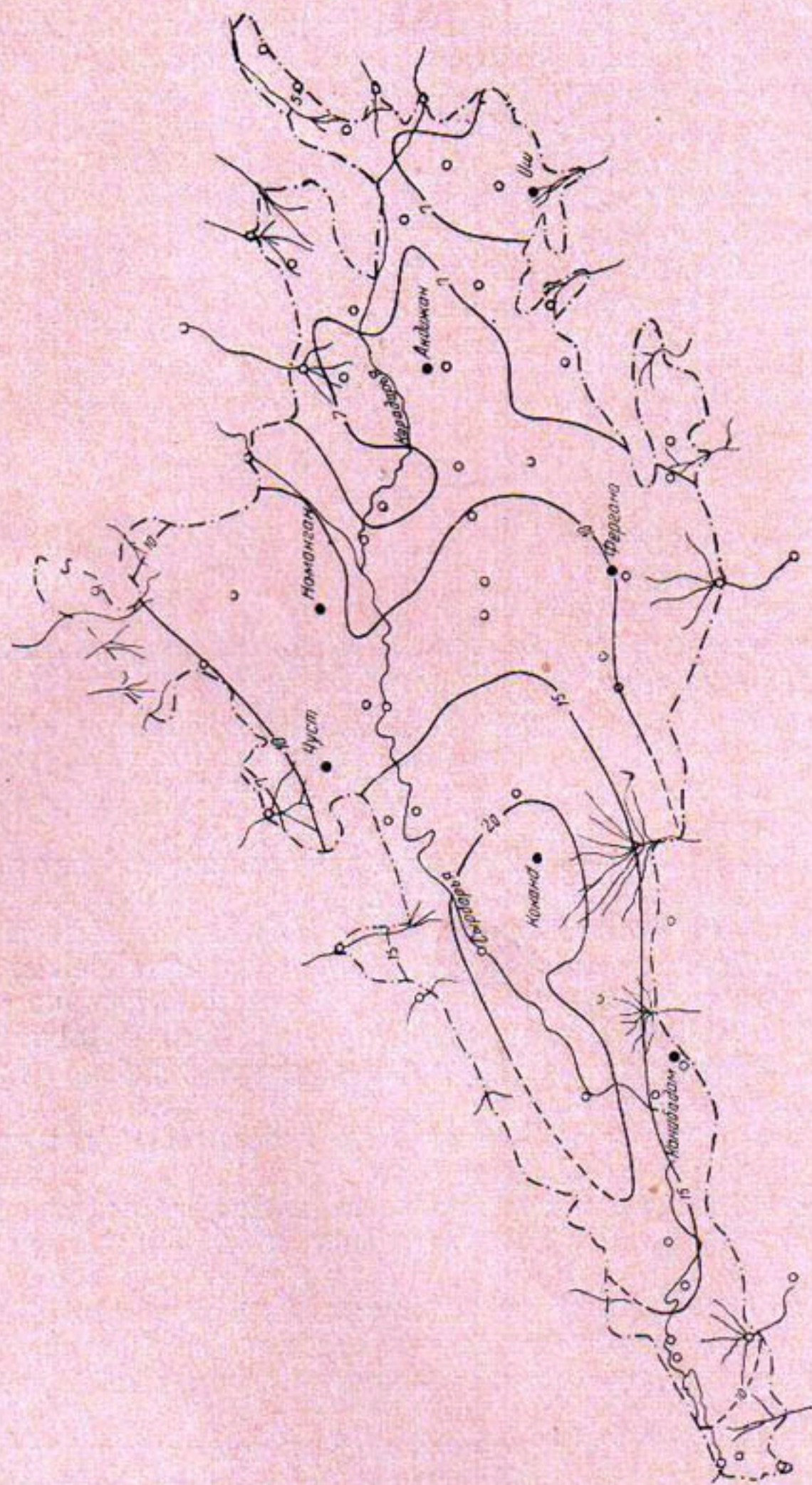


Рис. 2. Схематическая карта распределения на территории Ферганской долины средних (1953—1962 гг.) годовых поправок на смачивание.

Таблица 1

Ошибки определения поправок на смачивание по зависимости $\delta'_c = f(X)$

Показатель	Интервал годовых сумм осадков, мм					
	0 50	51 80	81 100	101 150	151 200	201 250
Средняя в интервале сумма осадков	42	70	91	121	172	224
Средняя в интервале δ'_c , %	19,3	19,3	15,6	15,9	11,3	9,8
$\Delta_{\text{ср}} \delta'_c$	$\pm 3,7$	$\pm 5,6$	$\pm 3,8$	$\pm 3,4$	$\pm 2,9$	$\pm 2,3$
$\delta'_{\text{сmax}} - \delta'_{\text{сmin}}$, %	12,3	17,7	22,7	15,8	14,8	11,4
$\delta'_{\text{сср}}$, мм	8,1	13,5	14,2	19,2	19,4	21,9
$\Delta_{\text{ср}}$, мм	$\pm 1,6$	$\pm 3,9$	$\pm 3,5$	$\pm 4,1$	$\pm 5,0$	5,2
$\delta'_{\text{сmax}} - \delta'_{\text{сmin}}$, мм	5,2	12,4	20,6	19,1	25,4	25,5

Продолжение

Показатель	Интервал годовых сумм осадков, мм						
	251 300	301 350	351 400	401 500	501 600	601 700	>700
Средняя в интервале сумма осадков	276	322	370	444	554	630	766
Средняя в интервале δ'_c , %	7,8	7,3	6,4	6,1	5,2	4,6	4,3
$\Delta_{\text{ср}} \delta'_c$	1,8	1,5	1,2	0,8	0,7	—	—
$\delta'_{\text{сmax}} - \delta'_{\text{сmin}}$, %	7,7	5,8	3,9	3,9	2,8	—	1,1
$\delta'_{\text{сср}}$, мм	21,5	23,5	23,6	27,0	28,8	29,0	32,9
$\Delta_{\text{ср}}$, мм	5,0	4,8	4,4	3,5	3,9	—	—
$\delta'_{\text{сmax}} - \delta'_{\text{сmin}}$, мм	21,2	18,6	14,4	17,3	15,5	8,4	—

Таблица 2

Поправки на смачивание $\delta_c^* = f(X)$

Показатель	Месичная сумма осадков									
	0 2	2,1 5	5,1 10	10,1 15	15,1 20	20,1 25	25,1 30	30,1 35	35,1 40	$\geq 40,1$
$\delta_c^* \text{ ср. } \%$	41,1	21,6	15,4	13,1	10,8	8,7	7,2	7,3	6,2	5,2
$\pm \Delta \text{ ср.}$	15,9	7,7	5,1	3,9	2,8	1,7	1,1	1,6	1,2	0,9
$\delta_c^* \text{ max}$	71,0	50,9	39,2	23,2	19,3	12,3	10,0	11,5	—	—
$\delta_c^* \text{ min}$	10,5	6,3	5,0	5,2	3,4	4,2	4,5	3,8	—	—
$\delta_c^* \text{ max} - \delta_c^* \text{ min}$	60,5	44,6	34,2	18,0	15,9	8,1	5,5	7,7	—	—
$X \text{ ср.}$	1,0	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	—	—
$\delta_c^* \text{ ср.}, \text{ мм}$	0,4	0,5	1,2	1,6	1,9	2,0	2,0	2,4	—	—
$\text{max} - \text{min}, \text{ мм}$	0,6	1,4	2,5	2,2	2,8	1,8	1,5	2,5	—	—

мерении атмосферных осадков современными стандартными приборами — искажение ветрового поля вокруг приемной части прибора.

Исследователями установлена четкая зависимость между суммой атмосферных осадков и скоростью ветра в приземном слое воздуха. Так, пятилетние наблюдения А. Г. Левина и В. Д. Мячикова [3] показали, что в наземные дождемеры попадает на 6—8% осадков больше, чем в осадкомер, установленный на высоте 2 м.

В. С. Голубевым [2] выявлено, что осадкомер Третьякова, установленный на высоте 2 м, улавливает осадков в среднем на $12 \pm 3\%$ меньше.

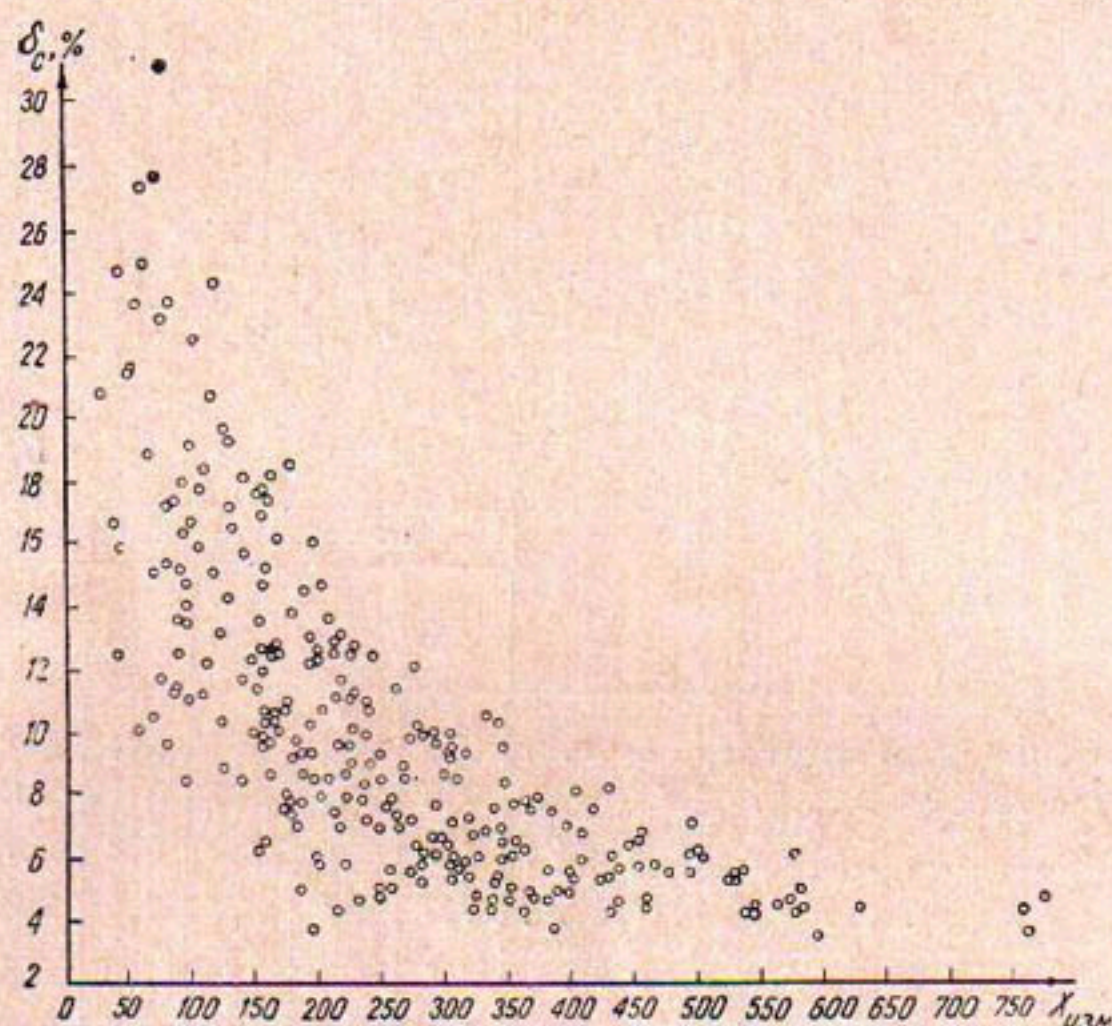


Рис. 3. Зависимость потерь на смачивание от годовой суммы измеренных осадков.

ше фактического. Авторы объясняют это влиянием двух факторов: вихревой поток, возникающий при встрече ветра с прибором, вызывает выдувание осадков, а также ветровое их перераспределение и изменение направления вертикального потока.

Первый фактор имеет большее значение в районах с преобладанием твердых осадков, для жидких эту величину принято считать незначительной (менее 2%).

Исследованиями Э. Г. Богдановой [1] установлено, что на территории ЕТС величина ветрового недоучета жидких осадков составляет, по предварительным данным, 5—7%, достигая 10—11% при скорости ветра 8—10 м/сек. Величина недоучета твердых осадков, по тем же данным, достигает 30—50% при ветре 10—12 м/сек.

В условиях Средней Азии эксперименты по исследованию недоучета жидких осадков в результате искажения ветрового поля осадкомером проводились отделом метеорологии Узбекского управления гидрометслужбы на станциях Бозсу, Каттакурганского и Кайраккумского водохранилищ в течение 1962—1964 гг.

Экспериментальными наблюдениями установлено, что процент недоучета жидких осадков при скорости ветра 0—6 м/сек колеблется от 1,5 до 10% (рис. 4); при скорости 6 м/сек систематическая поправка

на ветер (δ_v) получена по небольшому числу случаев из-за редкой повторяемости осадков при такой скорости¹ и поэтому требует дальнейшего уточнения.

Зависимость $\delta_v = f(V)$ получена только для случаев выпадения жидких осадков. Между тем в исследуемом районе с октября—ноября по февраль—март осадки могут выпадать и в твердом виде.

В некоторые годы количество твердых осадков колеблется в пределах 0—50%. В среднем за 10 лет (по данным 16 станций) она меняется от 11 до 34%. Так как доля твердых осадков в общей годовой сумме не очень велика, и для описываемой территории не характерны сильные ветры, способствующие выдуванию осадков, мы не допускали существенной погрешности в определении δ_v к их годовой сумме. При этом необходимо помнить, что в месяцы, когда преобладают твердые осадки (октябрь—март) величина ветровой поправки может быть несколько приуменьшена в результате выдувания их из осадкомерного ведра. В горных районах, с увеличением доли твердых осадков и скорости ветра эта величина может сильно возрасти. Зависимость ветровой поправки от скорости ветра на высоте 2 м выражается уравнением:

$$\delta_v = 1,4V_2 + 1,4 \quad (2)$$

где δ_v — недоучет осадков — разница в показаниях наземного дождемера и осадкомера, % от показаний осадкомера,

V_2 — скорость ветра на высоте 2 м, м/сек (табл. 3).

Величины δ_v , приведенные в табл. 3, получены со средней абсолютной ошибкой $\pm 1,5\%$. Относительные ошибки при скорости ветра близкой к нулю очень велики и с возрастанием скорости уменьшаются.

Поэтому величины δ_v , особенно при скорости менее 1,4—2 м/сек, следует считать ориентировочными. В дальнейшем необходимо уточ-

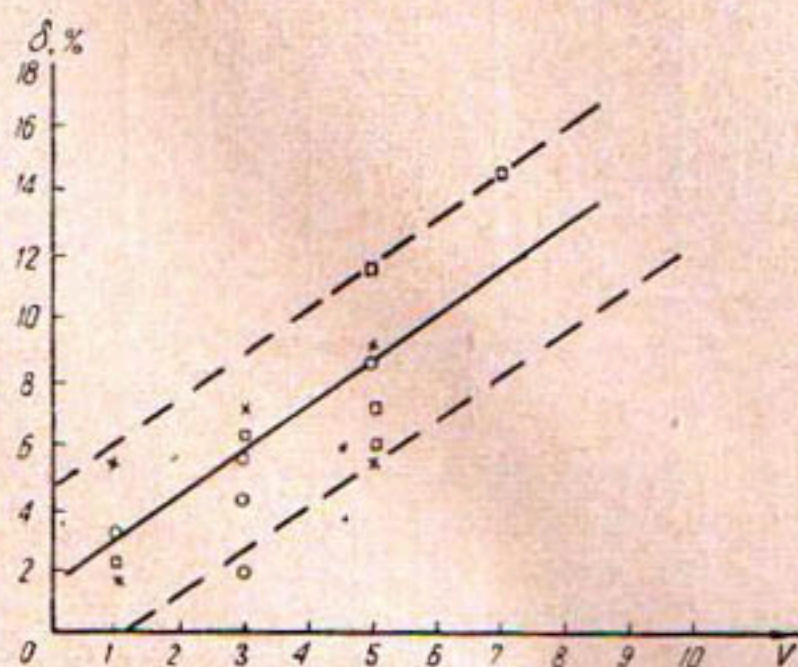


Рис. 4. Зависимость ветровой поправки от скорости ветра на высоте 2 м.

Таблица 3

Ветровые поправки к показаниям осадкомеров

V_2	δ_v %	$\pm \Delta$ %*	V_2	δ_v %	$\pm \Delta$ %	V_2	δ_v %	$\pm \Delta$ %	V_2	δ_v %	$\pm \Delta$ %
0,1	1,6	94,0	1,1	3,1	48,5	2,1	4,4	34,1	3,1	5,8	25,9
0,2	1,8	83,5	1,2	3,2	46,9	2,2	4,6	32,6	3,2	6,0	25,0
0,3	1,9	79,0	1,3	3,3	45,5	2,3	4,7	31,9	3,3	6,1	24,6
0,4	2,0	75,0	1,4	3,5	42,9	2,4	4,9	30,6	3,4	6,3	23,8
0,5	2,2	68,3	1,5	3,6	41,6	2,5	5,0	30,0	3,5	6,4	23,4
0,6	2,3	65,4	1,6	3,8	39,5	2,6	5,2	28,9	3,6	6,5	23,1
0,7	2,5	60,1	1,7	3,9	38,7	2,7	5,3	28,4	3,7	6,7	22,4
0,8	2,6	57,8	1,8	4,0	37,5	2,8	5,4	27,8	3,8	6,8	22,1
0,9	2,8	53,6	1,9	4,2	35,7	2,9	5,6	26,8	3,9	7,0	21,5
1,0	2,9	51,8	2,0	4,3	34,9	3,0	5,7	26,4	4,0	7,1	21,2

¹ В период выпадения осадков преобладают ветры со скоростью не выше 4—5 м/сек (92% случаев) и лишь в 5% превышают 6 м/сек.

V_2	$\delta_B \%$	$\pm \Delta \%$	V_2	$\delta_B \%$	$\pm \Delta \%$	V_2	$\delta_B \%$	$\pm \Delta \%$
4,1	7,3	20,6	5,1	8,6	17,4	6,1	10,0	15,0
4,2	7,4	20,3	5,2	8,8	17,1	6,2	10,2	14,7
4,3	7,5	20,0	5,3	8,9	16,9	6,3	10,3	14,5
4,4	7,7	19,5	5,4	9,1	16,5	6,4	10,5	14,3
4,5	7,8	19,2	5,5	9,2	16,3	6,5	10,6	14,1
4,6	8,0	18,8	5,6	9,4	16,0	6,6	10,7	14,0
4,7	8,1	18,5	5,7	9,5	15,8	6,7	10,9	13,8
4,8	8,2	18,3	5,8	9,6	15,6	6,8	11,0	13,6
4,9	8,4	17,8	5,9	9,8	15,3	6,9	11,2	13,4
5,0	8,5	17,7	6,0	9,9	15,2	7,0	11,3	13,3

* $\pm \Delta$ — ошибка расчета $\delta_B \%$ по формуле (2).

нить уравнение $\delta_B = f(V_2)$ специальными наблюдениями в различных районах Средней Азии, особенно на территории с экстремальными значениями скорости ветра. Сейчас по имеющимся материалам можно получить ориентировочную величину систематической поправки на ветер на отдельных метеостанциях и в целом для Ферганской долины.

По данным 15 метеостанций, расположенных в разных частях, систематические поправки за счет изменения вертикального потока осадков в отдельные месяцы колеблются от 0 до 7 мм, а ветровые поправки к годовым суммам составляют 5—30 мм.

В 91% случаев δ_B к месячной сумме измеренных осадков не превышает 2,5 мм, и лишь в двух больше 5 мм. Значения ветровых поправок к годовой сумме осадков примерно в 50% случаев больше 10 мм. Годовые поправки δ_B , выраженные в процентах от измеренной суммы осадков, колеблются главным образом в пределах 3—5% (примерно 77% общего числа случаев), а в 17 больше 5% от измеренной годовой суммы, достигая в некоторых пунктах 9% и более, т. е. они достаточно велики, чтобы их учитывать при водобалансовых исследованиях.

Естественно, что ветровая поправка является функцией скорости ветра. В отличие от зависимости $\delta_B = f(V_2)$, приведенной на рис. 4, расчетное уравнение $\delta_B' = f(U)$ следует строить, исходя из стандартных наблюдений за ветром на высоте флюгера. Для этого по данным 14 метеостанций Ферганской долины и табл. 4 были определены ветровые поправки в процентах от годовой суммы измеренных осадков. Полученные величины δ_B связаны со скоростью ветра на высоте флюгера зависимостью:

$$\bar{\delta}_B' = 1,2\bar{U}_\Phi + 1,6 \quad (3)$$

где $\bar{U}_\Phi$ — среднегодовая скорость ветра на высоте флюгера, м/сек,
 $\bar{\delta}_B'$ — ветровая поправка к годовой сумме осадков, % от измеренной сумме осадков.

Среднее отклонение вычисленных по этому уравнению $\bar{\delta}_B'$ от фактических составляет 14,6%. Точность расчета значительно повышается если в уравнение ввести дополнительный параметр $\bar{L} = \frac{\bar{U}_2}{\bar{U}_1}$, где $\bar{U}_2$ — средняя скорость ветра за дни с осадками (в среднем за 10 лет); $\bar{U}_1$ —

Поправка на ветер, % от годовой суммы измеренных осадков

Станция	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	ср.	Max	Min	Max Min
Водохранилище Фархад ГЭС	3,9	3,5	5,2	4,5	3,6	4,1	3,8	4,3	3,8	3,6	4,0	5,2	3,5	1,7
Коканд	6,1	4,9	6,3	8,8	4,2	3,3	—	6,1	5,8	6,3	5,8	8,8	3,3	5,5
Фергана	3,2	3,2	3,2	4,3	3,2	4,0	4,1	3,8	4,1	3,7	3,7	4,3	3,2	1,1
Федченко	3,7	3,6	3,5	3,3	3,6	3,5	3,9	3,4	3,8	4,3	3,7	4,3	3,3	1,0
Ош	4,2	5,7	4,1	3,7	3,5	3,9	3,8	4,0	2,5	3,6	3,9	5,7	2,5	3,2
Андижан	2,8	2,9	3,1	2,5	3,5	3,1	3,2	3,3	3,5	3,3	3,1	3,5	2,5	1,0
Джалалабад	3,9	4,3	3,8	3,7	4,1	4,2	3,7	4,2	3,6	3,7	3,9	4,3	3,6	0,7
Ленинджол	3,4	3,4	3,1	3,7	3,9	4,1	3,5	4,0	3,8	3,8	3,7	4,1	3,1	1,0
Учкурган	4,0	4,0	3,9	3,8	3,8	4,0	3,4	3,9	4,0	3,7	3,8	4,0	3,4	0,6
Наманган	4,6	4,6	4,4	4,5	4,4	5,4	4,4	7,1	4,9	4,0	4,8	7,1	4,0	3,1
Кассансай	3,3	4,1	3,5	4,2	3,4	3,6	3,8	3,8	3,8	4,2	3,8	4,2	3,3	0,9
Пап	3,5	3,1	3,6	3,3	3,4	3,4	3,5	3,4	3,5	3,4	3,4	3,6	3,1	0,5
Ленинабад	7,9	9,4	—	9,6	7,8	8,5	8,5	8,1	7,7	8,4	7,6	9,6	7,6	2,0
Байтоқ	4,6	4,6	4,6	4,2	4,3	4,3	4,3	4,3	4,4	4,8	4,4	4,8	4,2	0,6
Караван	3,1	3,0	3,5	3,0	3,1	3,0	3,0	2,6	2,6	2,6	3,0	3,5	2,6	0,9
Джергитал	3,1	2,7	2,6	2,7	2,5	3,3	2,7	3,0	2,7	3,0	2,8	3,3	2,5	0,8

среднегодовая скорость ветра (в среднем за 10 лет). Исследования данных 14 метеостанций показали, что величина $\bar{L}$ колеблется в пределах 0,7—1,6. С введением коэффициента $\bar{L}$ уравнение (3) примет вид

$$\bar{\delta}_v' = 1,2\bar{L}\bar{U}_\phi + 1,3 \quad (4)$$

Среднее отклонение вычисленных поправок от фактических составляет 8,3%; только одна точка (6,6%) выходит за пределы ошибки больше 20%.

Этим же уравнением можно воспользоваться для расчета ветровых поправок к годовым суммам осадков отдельных конкретных лет.

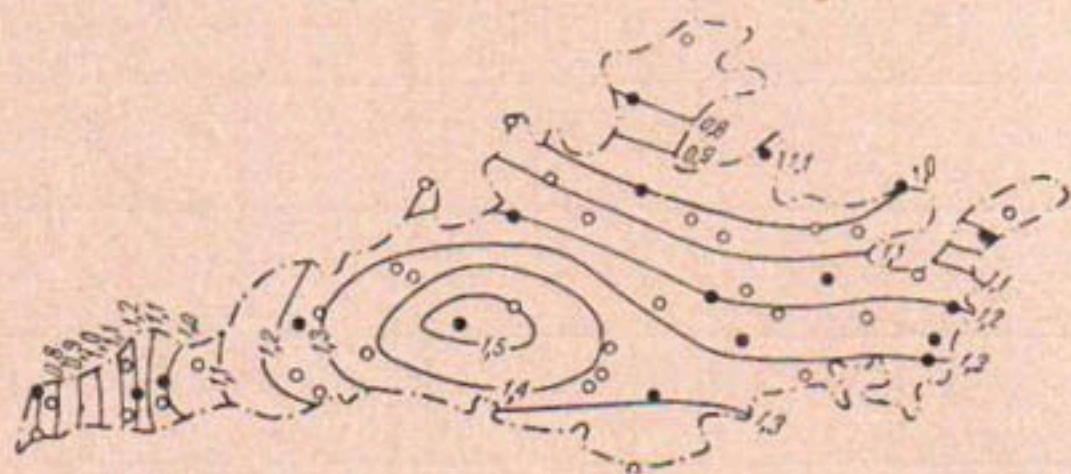


Рис. 5. Схематическая карта распределения по территории Ферганской долины коэффициента $\bar{L}$.

В этом случае отклонение вычисленных δ_v' от фактических составит 10,4%; в 88% случаев вычисленные поправки отличаются от фактических не более, чем на 20%.

Итак, для введения в годовую сумму измеренных осадков поправки δ_v' необходимо знать значение коэффициента $\bar{L}$ и среднегодовую скорость ветра по флюгеру. Значение коэффициента $\bar{L}$ можно получить по схематической карте (рис. 5), а среднегодовую скорость ветра на метеостанции из таблиц ТМ-1 или метеорологических справочников и ежегодников.

Таким образом, введение поправки δ_v' в показания осадкомеров, установленных на метеостанциях, не встречает каких-либо затруднений.

Хуже обстоит дело с постами, где скорость ветра не регистрируется. Известно, что помимо общей циркуляции атмосферы она определяется рядом местных факторов и поэтому не интерполируется по территории при отсутствии достаточно густой сети станций.

Однако в распределении скоростей ветра на исследуемой территории можно уловить некоторые закономерности.

Юго-восточная часть долины характеризуется пониженной скоростью ветра (1,2—1,6 м/сек, в среднем 1,5 м/сек) и поправкой, равной 3% от годовой суммы измеренных осадков.

Для второго района (ст. Коканд, Пап, Наманган, Кассансай, Уч-курган, Байток) характерны более высокие скорости ветра (1,5—2,7, в среднем 2,3 м/сек и соответственно $\bar{\delta}_v' = 4\%$).

Повышенными скоростями ветра характеризуется западная часть описываемой территории, где из-за значительного сужения долины скорость ветра возрастает от 2,8 до 5,3 м/сек. Приняв среднюю для района скорость ветра, равной 4,2 м/сек, получим поправку $\bar{\delta}_v'$, равную 6,3%.



Рис. 6. Схематическая карта изолиний ветровой поправки $\overline{\delta}_v$.

По результатам исследований построена карта средне-многолетних значений $\bar{\delta}_v'$ в процентах от измеренной суммы осадков (рис. 6).

Из рис. 6 видно, что наибольшими поправками на ветер характеризуются районы Коканда, Кировской, Махаутаук и наименьшими — восточная часть долины. Средняя поправка для исследуемой территории в целом равна 4%.

Для введения поправки δ_v' в показания осадкомеров за отдельные конкретные годы рекомендуется формула [3], а в случае отсутствия наблюдений за скоростью ветра — карта (рис. 6).

Принимая при этом относительную поправку на ветер в процентах постоянной из года в год, мы не допускаем значительной погрешности, так как она, как правило, слабо варьирует во времени (табл. 4).

Месячное значение δ_v может быть получено из табл. 4, если есть данные о скорости ветра в период выпадения дождей. Если последние отсутствуют, то для введения ветровой поправки в месячные суммы осадков годовое значение рекомендуется разбить по месяцам пропорционально сумме осадков за месяц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданова Э. Г. Зависимость показаний осадкомера Третьякова от скорости ветра, Тр. ГГО, вып. 175, 1965.
 2. Голубев В. С. Об учете дождевых осадков различными приборами, Тр. ГГО, вып. 81, 1960.
 3. Левин А. Г., Мячиков В. Д. О ветровом перераспределении осадков в атмосфере, Тр. ГГО, вып. 88, 1960.
-

Ф. Э. РУБИНОВА, М. Д. ЛАЗАРЕВА

К ВОПРОСУ О ВВЕДЕНИИ ПОПРАВКИ НА ИСПАРЕНИЕ ИЗ ОСАДКОМЕРНОГО ВЕДРА

За период от окончания дождя до начала наблюдений при принятой системе, когда измерения проводятся в 7 и 19 час., из осадкомерного ведра может испариться значительная часть выпавших осадков.

Особенно большие потери бывают в условиях сухого жаркого климата. На примере Ферганской долины мы приводим вероятную величину потерь атмосферных осадков на испарение из осадкомерного ведра. За исходные данные взяты опыты по «активному» определению испарения, проведенные на некоторых станциях Узбекского управления гидрометеорологической службы в июне—июле 1964 г.

Метод «активного» определения испарения, предложенный ГГО, заключается в том, что в один из сроков наблюдения в осадкомерное ведро наливается вода, а в следующий учитывается, сколько ее испарилось. В ходе исследований эмпирически установлено, что величина испарившейся воды не зависит от количества наливаемой в ведро (одновременно в разных ведрах было 25, 40, 50 и 100 мм). Поэтому все последующие измерения проводили при 100 мм.

Мы располагаем данными 13 станций, расположенных в равнинных районах Узбекистана (табл. 1). В период между сроками измере-

Таблица 1

Испарение из осадкомерного ведра в период между сроками с 7 до 19 и 19 до 7 час.

Станция	1—14 июня		15—30 июня		1—15 июля		16—31 июля		Среднее
	7—19	19—7	7—19	19—7	7—19	19—7	7—19	19—7	
Фергана	—	—	0,51	0,24	0,85	0,51	0,55	0,26	0,49
Чирчик	—	—	1,52	0,46	1,74	0,50	1,28	0,64	1,02
Ташкент	—	—	1,36	0,66	—	—	—	—	1,01
Золотая Орда	—	—	0,88	0,28	—	—	—	—	0,58
Бухара	—	—	1,03	0,46	1,41	0,43	0,66	0,41	0,74
Термиз	—	—	1,55	0,50	2,32	0,55	1,47	0,58	1,16
Боксу	—	—	0,87	0,32	0,74	0,39	0,89	0,35	0,60
Каттакурбан	—	—	0,47	0,32	—	—	—	—	0,39
Ташкент	0,86	0,28	0,74	0,28	0,79	0,35	0,85	0,21	0,55
Аральское море	—	—	1,15	0,91	1,27	0,60	1,35	1,64	1,15
Кунград	—	—	0,76	0,37	—	—	—	—	0,66
Ташкент	—	—	1,09	0,42	1,11	0,48	0,87	0,27	0,71
Чирчик	—	—	1,28	0,37	—	—	—	—	0,82

Дефицит влажности воздуха

Станции	1—14 июня		15—30 июня		1—15 июля		16—31 июля		Среднее
	7—19	19—7	7—19	19—7	7—19	19—7	7—19	19—7	
Фергана	—	—	21,4	14,4	26,1	20,3	19,6	12,7	19,1
Чимкурбан	—	—	28,1	17,8	32,4	22,4	30,3	19,4	25,1
Джизак	—	—	27,2	19,2	—	—	—	—	23,2
Золотая Орда	—	—	24,9	15,7	—	—	—	—	20,3
Бухара	—	—	28,3	17,2	29,9	19,8	25,0	16,6	22,8
Термез	—	—	33,0	20,6	35,5	22,2	31,0	20,3	27,1
Бозсу	—	—	24,2	16,2	26,6	17,7	24,2	16,2	20,8
Каттакурбан	—	—	25,2	18,4	—	—	—	—	21,8
Ташкент	24,0	15,6	21,6	14,0	26,4	17,0	24,4	15,2	22,6
Аральское море	—	—	12,6	8,9	17,8	16,1	23,2	18,4	16,2
Кунград	—	—	19,2	13,0	—	—	—	—	16,1
Тахиаташ	—	—	22,9	16,9	30,6	22,6	26,6	18,4	23,0
Чимбай	—	—	20,4	13,3	—	—	—	—	16,8

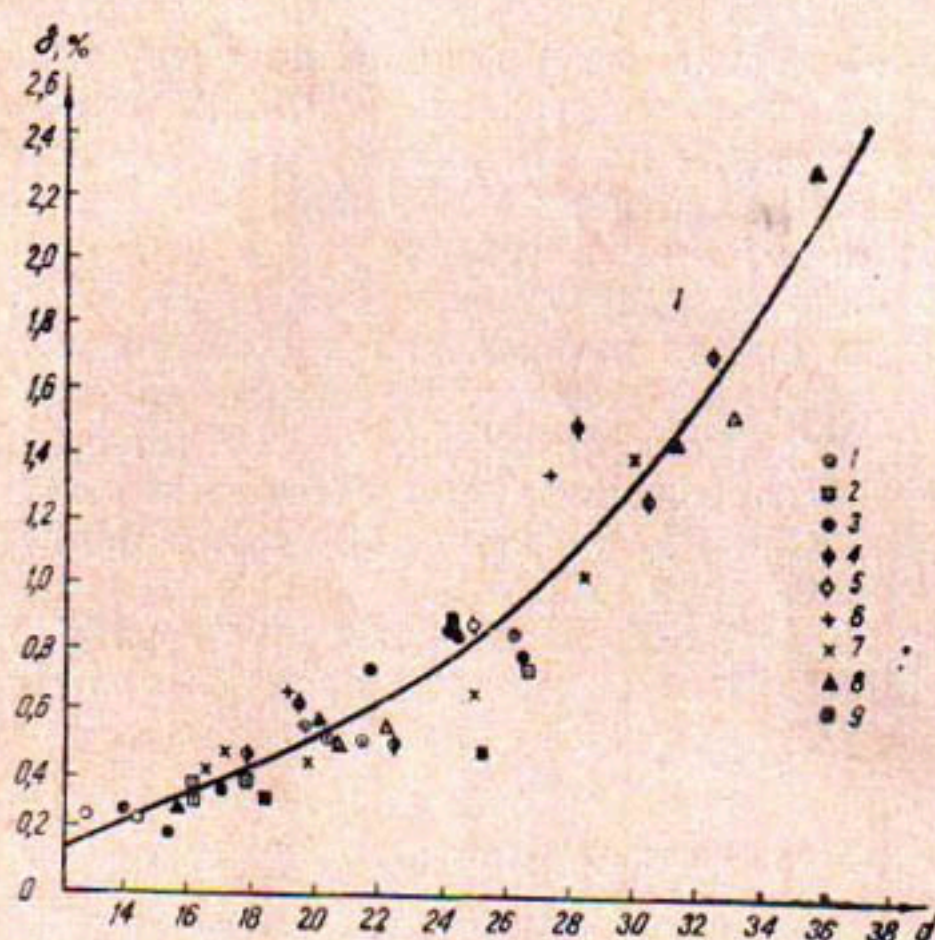


Рис. 1. Зависимость полусуточных потерь на испарение из осадкомерного ведра от дефицита влажности воздуха за тот же период (данные осреднены за две недели):

1 — Ташкент, 2 — Каттакурбан, 3 — Фергана, 4 — Чимкурбан, 5 — Золотая Орда, 6 — Джизак, 7 — Бухара, 8 — Термез, 9 — Бозсу.

ками наблюдений от дефицита влажности за тот же период (рис. 1)*. Из графика видно, что положение точек $\delta_{\text{н}}(d)$ не зависит от географических координат станций. Следовательно, эта зависимость может быть распространена на большую территорию.

* При построении зависимости не учтены станции Аральское море, Тахиаташ, Кунград и Чимбай, расположенные в условиях, резко отличных от Ферганской долины.

ния днем (7—19 час.) испаряется 0,47—2,32 мм осадков, в ночное время (19—7 час.) 0,21—1,64 мм.

В среднем за весь период наблюдений между двумя сроками измерения испарилось 0,39—1,16 мм осадков.

Следовательно, в летнее время, когда дефициты влажности воздуха высокие (табл. 2), при каждом измерении осадков мы недоучитываем около 0,20—1,16 мм.

Величина влаги, испарившейся из осадкомерного ведра, в значительной степени определяется влажностью воздуха. Чем больше недостаток насыщения, тем больше потери на испарение при прочих равных условиях.

По данным табл. 1 и 2 построена зависимость испарения из осадкомерного ведра в перерывах между сро-

Среднее арифметическое отклонение фактических точек от средней кривой равно 0,1 мм; в 75% случаев отклонение не превышает 0,15 и в 82 — не более 0,20 мм.

Попытки уменьшить рассеивание точек введением дополнительных аргументов (скорость ветра и температура воздуха) не дали положительных результатов.

Необходимо учесть, что при удлинении расчетного периода с двух недель до месяца рассеивание точек должно уменьшиться, поэтому мы считаем возможным использовать эту зависимость для расчета средне-месячных величин испарения. Величина $\delta_n = f(d)$ получена по данным эксперимента, проведенного летом. В период выпадения осадков дефицита влажности воздуха значительно меньше. Из подсчета повторяемости среднемесячного дефицита за дни с осадками, по данным 6 метеостанций, расположенных в разных районах Ферганской долины, видно:

Интервалы, d	Повторяемость, % от общего числа месяце- станций	Интервалы, d	Повторяемость, % от общего числа месяце- станций
0—1,0	14,7	13,1—14,0	0,5
1,1—2,0	27,0	14,1—15,0	1,8
2,1—3,0	7,3	15,1—16,0	2,3
3,1—4,0	5,5	16,1—17,0	1,8
4,1—5,0	7,8	17,1—18,0	1,8
5,1—6,0	5,0	18,1—19,0	2,8
6,1—7,0	4,1	19,1—20,0	1,8
7,1—8,0	2,8	20,1—21,0	1,4
8,1—9,0	0,9	21,1—22,0	0,5
9,1—10,0	0,9	22,1—23,0	1,4
10,1—11,0	2,8	23,1—24,0	—
11,1—12,0	2,3	24,1—25,0	0,5
12,1—13,0	2,3		

В 55% случаев осадки выпадают при дефиците влажности воздуха 0—4 мм и примерно в 80 — при $d < 12$ мм.

Зависимость $\delta_n = f(d)$ (рис. 1) получена для интервала дефицита влажности 12—36 мм и, следовательно, требует дальнейшего уточнения при малых дефицитах¹. Кроме того, функция $\delta_n = f(d)$ выражает испаряемость из осадкомерного ведра. Чтобы перейти от испаряемости к испарению, очевидно, необходимо знать хотя бы средний интервал времени между моментом окончания дождя и сроком наблюдений. Таким образом, вопрос о введении поправки на испарение требует дальнейших исследований.

Сейчас возможна только предварительная оценка величины потерь на испарение из осадкомерного ведра. Для этой цели можно использовать зависимость $\delta_n = f(d)$.

Наблюдения показали, что между средним месячным дефицитом и средним дефицитом за дни с осадками существует зависимость $d = 0,6 d_1^{1,1}$ (рис. 2). Здесь d_1 характеризует дефицит влажности за сутки, а d — за дневные и ночные наблюдения (с 7 до 19, с 19 до 7 час.). Таким образом, зная среднемесячный дефицит (d_1), можно получить полусуточный за дни с осадками.

¹ Отделом метеорологии Узб. УГМС весной 1965 г. на ряде станций проводились эксперименты по определению испарения из осадкомерного ведра.

Кривая $\delta_{\text{н}} = f(d)$ ограничена снизу дефицитом, равным 12 мм, поэтому потери на испарение при $d < 12$ мм условно приняты равными 0,1 мм на каждое измерение. По данным 14 метеостанций, расположенных в различных районах Ферганской долины, годовые потери на испа-

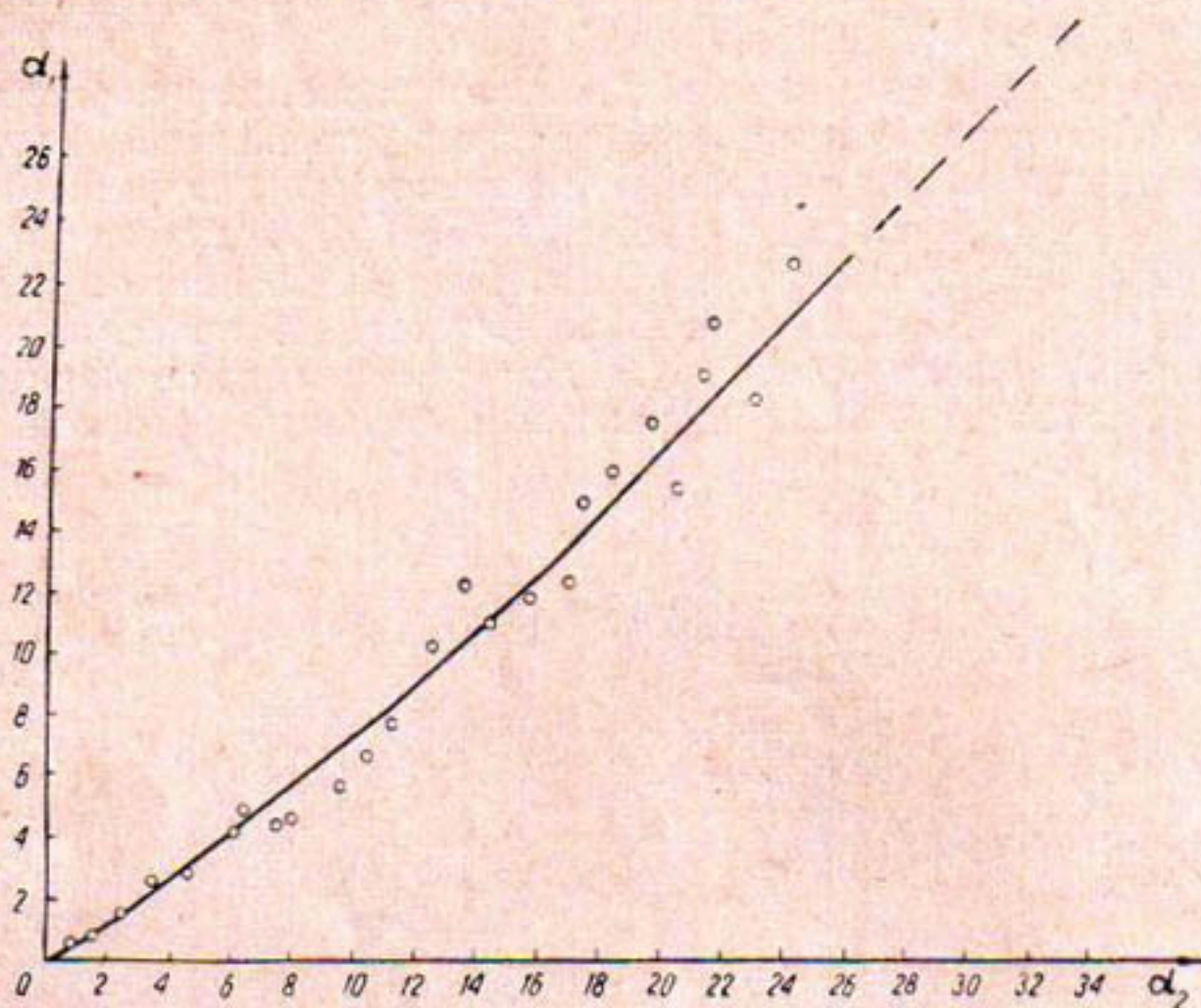


Рис. 2. Зависимость между среднемесячным дефицитом и средним дефицитом за дни с осадками.

рение из осадкомерного ведра в среднем за 10 лет колеблется в пределах 4—18% годовой суммы измеренных осадков.

Повторяемость годовых величин потерь на испарение характеризуется следующими данными:

Интервал $\delta_{\text{н}}$, мм	Число случаев, % от общего числа годостанций	Интервал $\delta_{\text{н}}$, %	Число случаев, % от общего числа годостанций
8,0—10,0	5,4	1,0—3,0	1,5
10,1—12,0	10,0	3,1—6,0	43,1
12,1—14,0	10,0	6,1—9,0	25,4
14,1—16,0	16,1	9,1—12,0	11,5
16,1—18,0	15,4	12,1—15,0	8,5
18,1—20,0	13,9	15,1—18,0	3,8
20,1—22,0	9,2	18,1—21,0	3,8
22,1—24,0	12,3	21,1—24,0	0,8
24,1—26,0	3,1	24,1—27,0	0,8
26,1—28,0	2,3	27,1—30,0	0,8
28,1—30,0	2,3	Σ	100
Σ	100		

В 65% случаев потери могут составить от 10 до 20 мм в год и в 20 — выше 20 мм. Потери на испарение, выраженные в процентах от годовой суммы измеренных осадков, лишь в 1,5% случаев меньше 3%, в 80 — колеблется в пределах 3—12%, в 10 — превышают 12% от измеренной суммы.

Месячные потери на испарение выражены следующими величинами:

Интервал $\delta_{\text{м}}$, мм	Число случаев, % от об- щего числа метеостан- ций	Интервал $\delta_{\text{н}}$, %	Число случаев, % от об- щего числа метеостан- ций
0—1,0	42,5	0—10	66,2
1,1—2,0	35,7	11—20	14,5
2,1—3,0	14,1	21—30	5,6
3,1—4,0	3,3	31—40	2,6
4,1—5,0	1,7	41—50	1,8
5,1—6,0	1,4	51—60	1,4
6,1—7,0	0,5	61—70	1,5
7,1—8,0	0,6	71—80	0,7
—	—	81—90	0,3
9,1—10,0	0,1	91—100	0,6
—	—	101—200	2,3
11,1—12,0	0,1	201—300	1,0
Σ	100	300—400	0,3
—	—	401—500	0,5
—	—	>500	0,7
—	—	Σ	100

В распределении годовых потерь на испарение из осадкомерного ведра по территории наблюдается определенная закономерность: они уменьшаются с запада на восток и с увеличением высоты местности. Зависимость эта выражается формулой:

$$\delta_{\text{н}} = \frac{27040}{\lambda^{1,45} H^{0,47}},$$

где $\delta_{\text{н}}$ — годовые потери, % от измеряемой годовой суммы атмо-
сферных осадков,

λ — долгота местности (условные единицы), в пределах исследуе-
мой территории меняется от 15 до 250,

H — высота станции, м.

Среднее отклонение вычисляемых по этой формуле $\delta_{\text{н}}$ от фактиче-
ских составляет 14,2%.

ВЫВОДЫ

1. Потери на испарение из осадкомерного ведра в условиях Сред-
ней Азии могут быть достаточно велики. В 55% случаев они больше
6% от измеренной годовой суммы атмосферных осадков.

Следовательно, эти потери необходимо учитывать при водобалан-
совых и других исследованиях.

2. Отсутствие достаточно полных экспериментальных данных не
позволяет уже сейчас вводить поправки на испарение.

3. Необходимы дальнейшие эксперименты по определению потерь
на испарение в наиболее дождливые периоды на ряде станций, распо-
ложенных в различных физико-географических районах, и установле-
ние закономерностей изменения этих потерь во времени и простран-
стве.

Б. Е. МИЛЬКИС, А. С. ЗАЙЦЕВ

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОДЫ И ВОЗДУХА И ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ИСПАРЕНИЯ С МАЛЫХ ВОДОЕМОВ

В августе 1965 г. в г. Валдае состоялось межведомственное совещание, на котором обсуждались проекты технических указаний по расчету испарения как с поверхности суши, так и с водной поверхности. В последнем проекте расчеты испарения для малых, средних и больших водоемов рекомендуется производить различными способами. В частности, для малых водоемов в «Технических указаниях» предлагается использовать формулу Б. Д. Зайкова:

$$E = 0,2n(e_0 - e_{200})(1 + 0,72U_{200}), \quad (1)$$

где E — величина испарения (мм/мес), $(e_0 - e_{200})$ — разность упругости водяного пара (мм) при температуре испаряющей поверхности и на высоте 200 см, U_{200} — скорость ветра (м/сек) на высоте 200 см, n — число дней в месяце. Для того чтобы этой формулой можно было пользоваться в практических расчетах, необходимо определить все исходные элементы, что представляет известные трудности, в особенности при водохозяйственном проектировании.

Облегчить расчеты можно, если использовать в формуле в качестве основного аргумента дефицит влажности воздуха вместо разности упругости водяного пара. Однако отождествлять эти две величины нельзя. Согласно исследованиям В. К. Давыдова [1], зависимость между $e_0 - e_{200}$ и D_{200} может быть представлена в виде:

$$e_0 - e_{200} = CD_{200}^k, \quad (2)$$

при этом $k < 1$.

Б. Д. Зайков [2] уточнил формулу Давыдова, приняв коэффициент C изменяющимся в зависимости от соотношения между температурой воды и воздуха. С учетом выражения (2) формула (1) записывается в виде:

$$E = 0,2nCD_{200}^{0,78}(1 + 0,72U_{200}) \quad (3)$$

Для практического использования данной формулы Б. Д. Зайков построил схему распределения параметра «С» по европейской территории СССР и части Западной Сибири. По Средней Азии соответствующих данных не было.

Сейчас накоплено большее количество наблюдений на испарительных бассейнах и некоторых водоемах, позволяющих построить прибли-

женную схему распределения параметра «С» по территории Средней Азии.

В этой статье использованы наблюдения 11 водноиспарительных станций УГМС, оборудованных испарительными бассейнами или плавучими испарителями ГГИ-3000. Основные сведения о водноиспарительных площадках приведены в табл. 1. Подробное описание местоположения площадок публикуется в «Материалах наблюдений над испарением с водной поверхности».

Таблица 1

Основные сведения о водноиспарительных станциях

Станция	Область	Высота над ур. м.	Период действия	Измеритель испарения
Барса-Кельмес	Казахская ССР	50	с 1952 г.	Бассейн 20 м ²
Бозсу	Узбекская ССР	489,0	1955	»
Тахиаташ	Каракалпакская АССР	76	1952	»
Каттакурганское в-ще	Узбекская ССР	494,9	1952	Плавучий испаритель ГГИ-3000
Кайраккумское в-ще	Таджикская ССР	347,0	1962	Бассейн 20 м ²
Ашхабад	Туркменская ССР	227,0	1953	»
Ясхан	»	9,2	1952	»
Тедженстрой	»	223,0	1957	Плавучий испаритель ГГИ-3000
Часкак	»	235,0	1959	То же
Сары-Язы	»	305,7	1958	»
Нурек	Таджикская ССР	905	1960—1963	Бассейн 20 м ²
Лайкак	Узбекская ССР	—	1951—1954	»
Фрунзе	Киргизская ССР	756,0	1956	»

Кроме того, мы воспользовались материалами двух водноиспарительных площадок, организованных в производственных целях Средазгидроводхлопком и Саогидропроектом. Следует отметить, что большинство станций расположено в равнинной части Средней Азии.

Средние значения параметра «С» приведены ниже.

Станция	Значения параметра «С»
Барса-Кельмес	1,5
Бозсу	2,0
Тахиаташ	1,7
Каттакурганское в-ще	1,3
Ашхабад	1,8
Кайраккумское в-ще	1,7
Ясхан	1,5
Тедженстрой	1,3
Часкак	1,3
Сары-Язы	1,2
Нурек	1,5
Лайкак	1,4
Фрунзе	2,0

Обращают на себя внимание заниженные значения параметра «С», определенные по данным наблюдений на плавучих испарительных установках. Здесь использованы имеющиеся в справочниках значения

разности между максимальной упругостью водяного пара и абсолютной влажностью воздуха, полученные в результате измерений по испарителю в водоеме. Для определения возможной поправки для перехода к испарительному бассейну мы сопоставили результаты расчетов пара

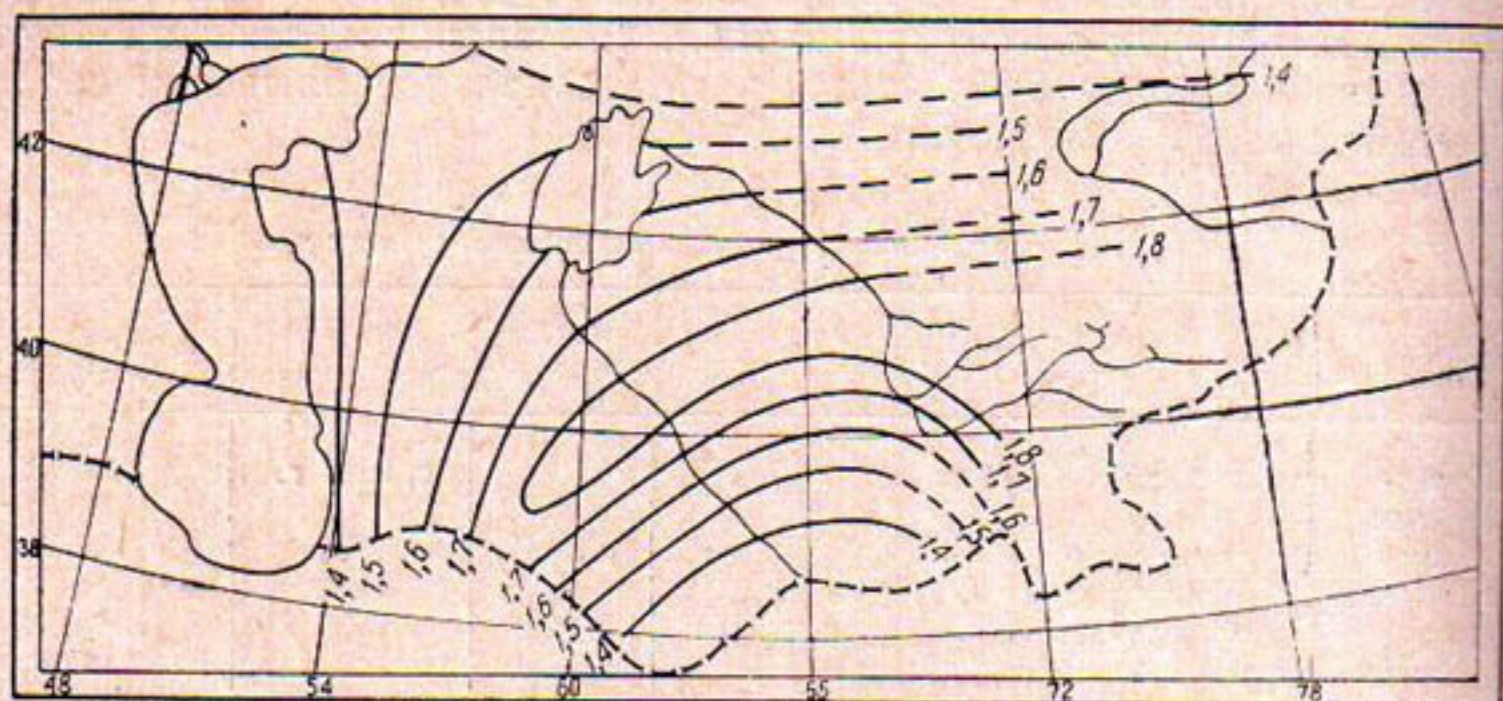


Рис. 1. Схема изолиний параметра «С».

метра «С» по данным одновременных наблюдений по бассейну и плавающему испарителю, организованных на ст. Ясхан (табл. 2).

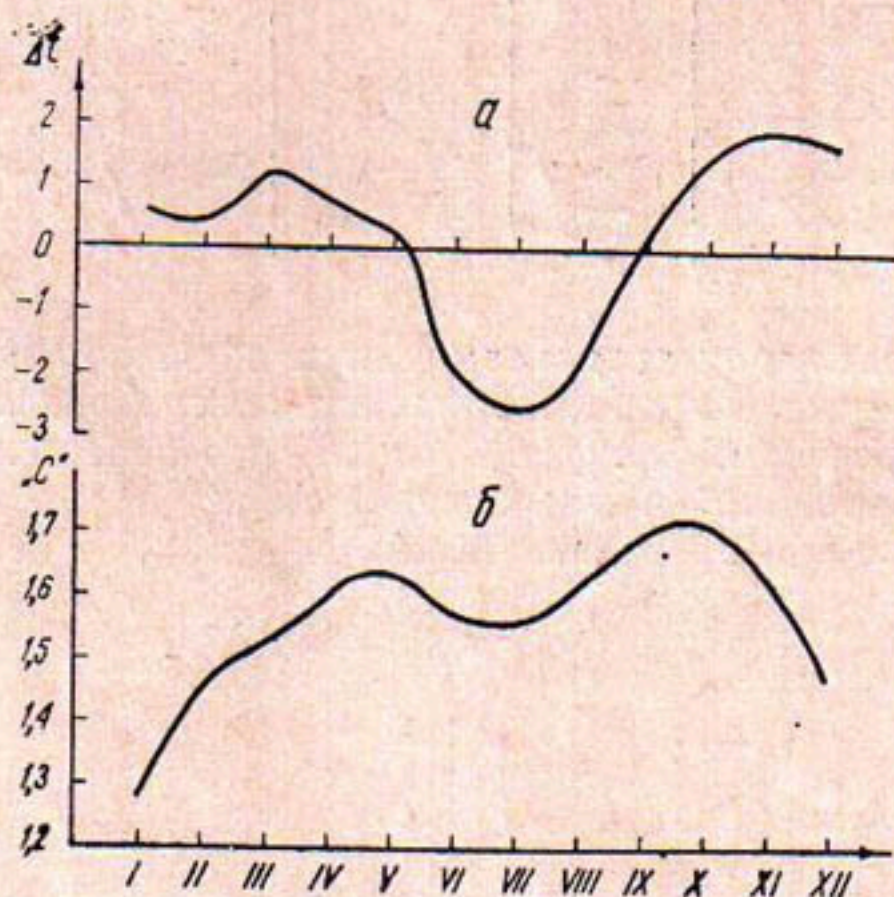


Рис. 2. Графики изменения разности температур вода—воздух (а) и параметра «С» (б).

Результаты сопоставления показывают, что при использовании для расчета данных измерений на плавающих испарительных установках параметр «С» занижен в среднем на 0,2. Поэтому при картировании параметра «С» эта поправка была учтена.

На рис. 1 приведена схема распределения параметра «С» по территории Средней Азии. Как видим, от изолинии 1,4, на которой кончается схема Б. Д. Зайкова, дальше на юг параметр «С» постепенно увеличивается до 1,8—2,0 и, достигнув максимума в центральной части Средней Азии, снова убывает до 1,4 на юго-востоке. Отметим, что

полученная нами карта довольно хорошо отражает тенденцию, намеченную Б. Д. Зайковым изолинией 1,4.

Имеющиеся материалы позволили выяснить и внутригодовую изменчивость параметра «С» (табл. 3).

Оказалось, что диапазон изменений «С» довольно велик — от 0,2 до 0,7. Еще большие колебания наблюдаются в многолетнем разрезе. В табл. 4 для примера приведена изменчивость параметра «С» в течение 11 лет для ст. Тахиаташ.

Расчет параметра «С» по данным одновременных наблюдений по бассейну и плавучему испарителю на ст. Ясхан (по месяцам)

Элементы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$(e_0 - e_{200})_I$ — бассейн . .	2,02	3,45	5,03	7,7	11,0	15,6	17,0	17,0	12,7	8,4	4,05	—
$(e_0 - e_{200})_{II}$ — испаритель	1,35	2,7	4,4	6,6	10,2	14,3	—	—	11,2	—	3,6	—
в водоеме	2,18	3,0	4,5	8,5	11,3	18,9	24,0	22,5	14,6	8,7	2,8	1,05
D	1,06	1,5	1,57	1,45	1,66	1,57	—	—	1,57	—	1,84	—
C_I	0,71	1,18	1,38	1,24	1,55	1,44	—	—	1,38	—	1,63	—
C_{II}												

Таблица 3

Внутригодовая изменчивость параметра «С»

Станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Барса-Кельмес	—	—	—	—	1,66	1,58	1,52	1,50	1,38	1,29	—	—
Бозсу	—	—	—	1,90	2,11	2,01	2,02	2,15	2,17	1,90	1,74	—
Тахияташ	—	—	—	—	1,29	1,47	1,51	1,67	1,81	1,92	1,97	—
Ясхан	1,53	1,63	1,56	1,49	1,56	1,46	1,43	1,44	1,51	1,54	1,57	1,61
Каттакурган	—	—	1,56	1,42	1,42	1,40	1,36	1,39	1,54	1,58	1,54	—
Кайраккум	—	—	—	—	1,65	1,56	1,64	1,74	1,89	1,84	1,67	—
Ашхабад	1,59	1,80	1,76	1,60	1,85	1,81	1,79	1,84	1,91	2,00	1,84	1,74
Тедженстрой	1,08	1,66	1,24	1,40	1,54	1,44	1,44	1,56	1,66	1,65	1,53	1,29
Часкак	1,12	1,12	1,31	1,45	1,62	1,55	1,48	1,51	1,76	1,77	1,69	1,33
Сары-Язы	1,11	1,22	1,44	1,50	1,37	1,28	1,32	1,33	1,46	1,58	1,46	1,38
Лайкак	1,20	1,31	1,72	1,68	1,50	1,37	1,22	1,34	1,50	1,51	1,39	1,49
Фрунзе	—	—	—	1,86	1,98	1,98	1,96	1,98	1,97	2,19	—	—
Среднее	1,27	1,46	1,51	1,59	1,63	1,57	1,55	1,62	1,70	1,73	1,64	1,47

На рис. 2, б показано внутригодовое изменение величины «С» (среднее для всех станций). Данные наблюдений на ст. Нурек, расположенной в горном районе, исключены, так как здесь параметр «С» колеблется более резко — от 0,9 до 2,6.

Таблица 4

Внутригодовая изменчивость параметра «С» по данным наблюдений на ст. Тахиаташ

Год	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1952	—	—	—	2,20	2,65	2,24	—
1953	1,36	1,41	1,35	1,45	1,66	1,72	—
1954	1,29	1,48	1,40	1,59	1,76	1,71	—
1955	1,40	—	1,38	1,43	1,63	1,67	—
1956	—	1,28	1,36	1,56	1,64	1,62	—
1957	1,29	1,44	—	1,54	1,50	1,79	—
1958	1,44	1,34	1,48	1,72	1,99	1,82	—
1959	1,39	1,52	1,61	1,60	1,68	1,34	—
1960	1,52	1,45	1,69	1,68	1,83	1,76	—
1961	1,34	1,54	1,66	1,80	1,88	2,04	1,56
1964	—	1,80	1,83	1,85	2,16	2,0	2,38

Достаточно ясно выделен максимум осенью. Весной прослеживается еще один максимум, правда не очень четко. На рис. 2, а и в табл. 5 дано годовое изменение разности температур вода—воздух. Как уже отмечалось, величина параметра «С», по Б. Д. Зайкову, должна определяться соотношением температуры воды и воздуха, поэтому мы предполагали с помощью рис. 2 объяснить годовой ход параметра «С». Однако, как видим, в условиях Средней Азии связь между ними прослеживается не так уж четко.

Таблица 5

Значения разности температур вода — воздух

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Барса-Кельмес . . .	—	—	—	—	1,5	—0,1	—0,4	—0,5	—0,5	—0,2	0,3	—
Бозсу	—	—	—	1,7	2,6	1,6	1,5	2,5	4,2	3,1	1,6	—
Тахиаташ	—	—	—	3,1	—0,6	—1,1	—0,5	—0,6	0,7	2,9	2,2	—
Каттакурган	—	—	1,1	0,2	—0,9	—2,6	—2,2	—2,7	—1,0	1,2	2,2	—
Ашхабад	1,5	1,6	2,9	1,8	0,9	—0,3	—1,2	—0,7	1,5	3,1	3,7	2,6
Кайраккум	—	—	—	1,1	0,3	—1,2	—0,9	0,1	1,8	1,5	2,5	—
Ясхан	1,2	0,8	1,6	0	—1,4	—2,7	—3,2	—3,0	—1,7	0,5	0,9	3,3
Тедженстрой	0,3	—0,4	1,0	—1,9	—1,3	—3,8	—4,7	—3,2	—1,3	0,4	1,5	—0,1
Часкак	—0,4	—0,9	—1,0	—0,6	—1,0	—2,4	—3,8	—2,5	0,0	2,0	2,5	1,2
Сары-Язы	0,3	0,1	—0,2	0,3	—2,0	—5,3	—6,8	—4,5	—1,8	0,3	1,9	1,0
Лайкак	1,0	1,2	3,4	1,5	—1,5	—4,2	—6,4	—4,8	—2,0	0,8	1,6	2,4
Среднее	0,6	0,4	1,2	0,7	—0,3	—2,0	—2,6	—1,8	0,0	1,4	1,9	1,7

Как видно из рисунка, при расчетах испарения по месяцам необходимо учитывать внутригодовую изменчивость «С». Для получения сезонной или годовой величины испарения с малых водоемов можно использовать средние значения параметра «С», представленные на схеме.

В заключение следует отметить, что построенная приближенная схема распределения «С» по территории Средней Азии дополняет предложенную схему Б. Д. Зайкова. Однако вопрос о возможности и точности расчетов испарения по формуле (3) является предметом отдельного исследования и здесь не рассматривается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Давыдов В. К. Испарение с водной поверхности в Европейской части СССР. Тр. НИУГМС, серия IV, вып. 12, 1944.
 2. Зайков Б. Д. Испарение с водной поверхности прудов и малых водохранилищ на территории СССР, Тр. ГГИ, вып. 21 (75), 1949.
-

Б. Е. МИЛЬКИС

НОМОГРАММА ДЛЯ ПЕРЕВОДА ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА ИЗ ММ ИЛИ МБ В Г/М³ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ВОЗДУХА

При определении испарения по методу А. А. Скворцова (1) абсолютная влажность воздуха a обычно берется в г/м³. Как известно (2), она связана с упругостью водяного пара e :

$$a = 1,06 \frac{e}{1 + 0,00366t},$$

если e в миллиметрах, и

$$a = 0,795 \frac{e}{1 + 0,00366t},$$

если e в миллибарах; t — температура воздуха.

Для облегчения вычислений некоторые авторы (3, 4) приводят таблицы значений переводных коэффициентов при различной температуре воздуха.

При обработке больших материалов процесс перевода в г/м³ с использованием соответствующих коэффициентов занимает много времени. Нами разработана номограмма, позволяющая осуществлять перевод влажности воздуха из мм или мб в г/м³ быстро и достаточно точно.

В основе номограммы лежит следующий принцип. Если разбить стороны прямоугольника на ряд отрезков и отметить их так, чтобы деления на одной стороне возрастали слева направо, а на другой — в обратном направлении, то прямые, соединяющие деления на противоположных сторонах, пересекаются в точке, лежащей на диагонали. Так как деления на разных сторонах отличаются в «К» раз, то при изменении величины «К» точка пересечения будет перемещаться вдоль диагонали.

На рис. 1 и 2 приведены номограммы для перевода влажности воздуха из мм или мб (верхняя шкала) в г/м³ (нижняя шкала).

Значения температур получены следующим образом. Прежде всего были рассчитаны величины переходного коэффициента «К» для определенного ряда температур, затем на нижней шкале отмечены деления, в соответствии с произведением $10 \cdot K$, и соединены прямыми с отметкой «10» на верхней шкале. В точках пересечения с диагональю показаны соответствующие значения температуры.

В табл. 1 и 2 приводятся значения произведения $10 \cdot K$ и $10 \cdot K_1$, где

$$K = \frac{1,06}{1 + 0,00366t} \text{ и } K_1 = \frac{0,795}{1 + 0,00366t}$$

при температуре воздуха от 0 до 50°.

Порядок работы с номограммой очень прост: соединяем прямой линией точку на верхней шкале, соответствующую данному значению упруго-



Рис. 1. Номограмма для перевода влажности воздуха из мм в $г/м^3$ при различной температуре воздуха.



Рис. 2. Номограмма для перевода влажности воздуха из мб в $г/м^3$ при различной температуре воздуха.

сти водяного пара в мм или мб, с точкой на диагонали, характеризующей температуру воздуха. В месте пересечения линии с нижней шкалой получим искомое значение абсолютной влажности в $г/м^3$.

Таблица 1

Значение произведения $10 \cdot K$ при различной температуре воздуха

t	0	2	4	6	8	10	12
$10 \cdot K$	10,60	10,52	10,45	10,37	10,30	10,23	10,15
t	14	16	18	20	22	24	26
$10 \cdot K$	10,08	10,01	9,94	9,88	9,81	9,74	9,68
t	28	30	32	34	36	38	40
$10 \cdot K$	9,61	9,55	9,49	9,43	9,37	9,31	9,25
t	42	44	46	48	50		
$10 \cdot K$	9,19	9,13	9,07	9,02	8,96		

Таблица 2

Значения произведения $10 \cdot K_1$ при различной температуре воздуха

t°	0	2	4	6	8	10	12
$10 \cdot K_1$	7,95	7,89	7,84	7,78	7,72	7,67	7,61
t°	14	16	18	20	22	24	26
$10 \cdot K_1$	7,56	7,51	7,46	7,41	7,36	7,30	7,26
t°	28	30	32	34	36	38	40
$10 \cdot K_1$	7,21	7,16	7,12	7,07	7,03	6,98	6,94
t°	42	44	46	48	50		
$10 \cdot K_1$	6,89	6,85	6,80	6,76	6,72		

ЛИТЕРАТУРА

1. Скворцов А. А. Об испарении и обмене в приземном слое атмосферы, Тр. Института энергетики, вып. 1, Ташкент, Изд. АН УзССР, 1947.
2. Тверской П. Н. Курс метеорологии, Л., Гидрометеониздат, 1962.
3. Конторщиков А. С. Определение величины испарения в естественных условиях методом, основанным на законе ярусности конвективного обмена, Методические указания, ЦИП, вып. 9, 1950.
4. Гольцев М. М., Максимов С. А., Ярошевский В. А. Практическая агрометеорология. Л., Гидрометеониздат, 1952.

А. С. ЗАЙЦЕВ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ПРИ РАСЧЕТАХ ИСПАРЕНИЯ ИЗ РУСЛА АМУДАРЬИ

При расчетах водного баланса рек и проведении водохозяйственных мероприятий представляет интерес определение непродуктивных потерь воды путем испарения с водной поверхности реки, ее притоков и отводных каналов. Установка плавучих испарителей часто связана с большими техническими и методическими трудностями, особенно при больших скоростях течения реки. Поэтому расчетные методы имеют большое значение.

На примере Амударьи мы рассматриваем некоторые вопросы возможности применения метода теплового баланса, как наиболее физического обоснованного. Он основан на уравнении сохранения энергии и подробно изложен в работах советских и зарубежных исследователей [1, 5, 6].

Однако применение данного метода при расчетах испарения с рек до сих пор не рассматривалось. Составляющие теплового баланса определяются по данным (радиационный баланс, альбедо, температура поверхности почвы, скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха), измеренным на метеорологических станциях.

Кроме указанных параметров, необходимо знать альбедо, температуру поверхности воды и размеры водного объекта.

Уравнение теплового баланса [5] имеет вид:

$$R = P + LE + B_T + B_U + B_G, \quad (1)$$

где R — радиационный баланс,

LE — затраты тепла на испарение,

P — турбулентный поток тепла от водной поверхности в атмосферу,

B_T — изменение теплосодержания воды,

B_U — приток тепла, связанный с переносом тепла течением,

B_G — поток тепла через ложе реки.

Методика расчета радиационного баланса водной поверхности по данным станции, расположенной на берегу, достаточно полно изложена в работах М. П. Тимофеева [4, 5], поэтому мы приведем только расчетную формулу¹:

$$R = R' + Q'(A' - A) + 4\delta\sigma T_0^3(T_n' - T_n), \quad (2)$$

где R' и Q' — радиационный баланс и суммарная радиация на берегу,

A' и A — альбедо суши и водной поверхности,

T_0 — температура воздуха на суше,

T_n' , T_n — температура поверхности почвы и воды.

¹ Все расчеты проводятся для среднемесячных условий.

Для удобства расчетов величину $4\delta\sigma T_0^3$ можно определить по таблице [5]. Несмотря на обширные исследования, альбедо водной поверхности для Амударьи можно определить лишь приближенно из-за повышенной мутности воды. При расчетах была принята величина $A = 15\%$ [3].

Особого внимания заслуживают значения теплообмена в воде. Величина B_T — изменение теплосодержания определяется по формуле

$$B_T = C_v \int_0^H \frac{dT_B}{dt} dz, \quad (3)$$

где C_v — объемная теплоемкость воды,

H — глубина реки,

$\frac{dT_B}{dt}$ — изменение температуры воды по времени.

Для приближенных расчетов, при условии, что температура воды не меняется по глубине (водная масса хорошо перемешивается течением) и $H = 2$ м, легко получить следующую формулу:

$$B = 6,65 \Delta T_n \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}. \quad (4)$$

В формуле (4) необходимо знать лишь изменение температуры поверхности воды (ΔT_n) от месяца к месяцу.

Второй член в формуле (1), связанный с теплообменом в воде (B_U), характеризует перенос тепла течением. Обычно при расчетах теплового баланса водоемов этим членом пренебрегают из-за малой скорости течения. При расчетах для рек, где скорость течения воды значительна, необходим учет этой составляющей теплового баланса. В самом общем виде величину B_U можно определить по формуле:

$$B_U = C_v \int_0^H U_B \frac{dT_B}{dx} dz, \quad (5)$$

где U_B — скорость течения воды,

$\frac{dT_B}{dx}$ — изменение температуры воды вдоль русла.

Если предположить постоянными скорость течения и градиент температуры $\frac{dT_B}{dx}$ для данного участка реки, то нетрудно получить:

$$B_U = 1,73 \cdot 10^3 U_B \frac{dT_B}{dx} \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}, \quad (6)$$

где U_B — м/сек,

$\frac{dT_B}{dx}$ — в градусах на 10 км.

Таким образом, для расчета этой составляющей необходимо знать скорость течения и разность температур воды на двух постах, ограничивающих данный участок. Необходимо отметить, что величина B_U определяется знаком разности температур поверхности воды. Если температура ниже по течению меньше температуры верхнего створа, то $B_U > 0$, т. е. существует приток тепла, который расходуется другими составляющими теплового баланса.

При обратном соотношении температур наблюдается вынос тепла водой из данного участка.

Величина теплообмена ложа реки с водой определяется градиентом температуры в грунте и его теплофизическими свойствами:

$$B_r = C_{гр} \int_H^{H+\Delta H} \frac{dT}{dz} dz, \tag{7}$$

где ΔH — слей грунта ниже дна реки,
 $\frac{dT}{dz}$ — изменение температуры между двумя сроками (месяцами) в слое ΔH .

Очевидно, что непосредственно измерить все определяющие B_r параметры затруднительно, тем более что, как показывают исследования [5], этого и не требуется, так как величина B_r по сравнению с другими составляющими теплового баланса мала.

Для приближенной оценки можно воспользоваться измерениями температуры поверхности воды и температуры почвы на глубине 3,2 м.

Расчет затрат тепла на испарение и турбулентный теплообмен с атмосферой рассчитывается по формулам [5]:

$$LE = \frac{1,55\Delta e (R - B_T - B_U - B_r)}{1,55\Delta e + \Delta T} \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}, \tag{8}$$

$$P = \frac{(R - B_T - B_U - B_r) \Delta T}{1,55\Delta e + \Delta T} \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \cdot \text{сут}}, \tag{9}$$

где Δe — разность максимальной упругости водяного пара при температуре поверхности воды и абсолютной влажности воздуха на высоте 2 м над водной поверхностью, мб,

ΔT — разность температуры поверхности воды и воздуха.

Величины Δe и ΔT рассчитывались по температуре воздуха на берегу, размерам водного объекта и температуре воды [5]. Для удобства анализа значение испарения приводилось к мм/мес умножением LE на $16,6 \cdot 10^{-3}$ и на число дней.

По указанной схеме были проведены расчеты для участка Амударья от ст. Керки до Мукры по данным наблюдений 1963 г. Данные наблюдений взяты по актинометрической станции Термез.

Кроме того, использовались наблюдения за температурой воды в Мукры и Керки (таблица).

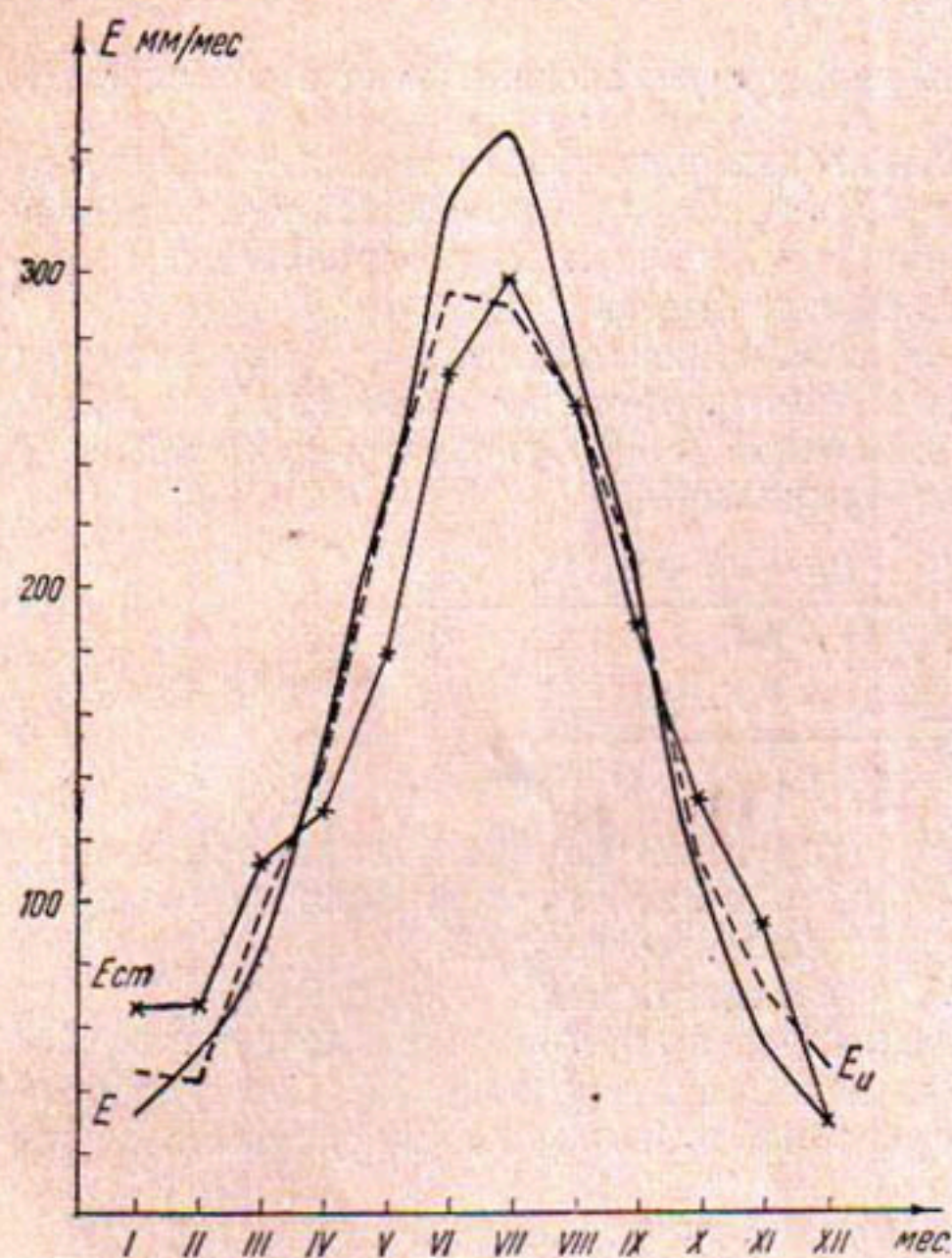
Величины	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
R	73,6	93,4	181,3	328,9	426,5	574,7	567,5	476,0	327,0	192,5	78,3	44,0
B_T	5,3	23,3	12,6	49,8	17,9	16,6	-1,3	-8,0	-13,3	-21,2	-44,5	-39,8
B_U	0,4	0,1	0,3	-0,4	-1,1	-1,8	-1,6	-1,2	0,0	0,8	1,1	1,5
B_r	2,9	3,0	4,5	6,7	8,9	8,1	6,8	8,2	9,7	7,5	4,3	2,5
LE	5,5	1,3	6,7	-12,0	-33	-91	-98	-49	0,0	13,7	18	23,6
P	32	32	84	145	220	324	345	274	200	103	52	31
$R - B_T - B_U - B_r$	-19	-19	-38	0,0	-9,4	47	94	28	0	-19	-47	-47
$1,55\Delta e$	46	40	102	145	232	295	288	258	200	112	72	49
ΔT	14	7,7	18	0,0	12	-29	-57	-16	0,0	9	20,3	18
$LE \cdot 16,6 \cdot 10^{-3}$	-3,3	3,2	3,3	10,5	6,2	5,6	2,4	0,2	-2,1	-5,4	-10,5	-9,4
$P \cdot 16,6 \cdot 10^{-3}$	48	39	101	139	222	292	286	258	210	114	77	52
$1,55\Delta e + \Delta T$	2	-1,3	-1	-6	-10	-3	-2	0	10	2	4,5	2,5
$1,55\Delta e + \Delta T \cdot 16,6 \cdot 10^{-3}$	66	67	113	130	179	270	299	258	188	132	86	25

Из таблицы видно, что радиационный баланс водной поверхности в течение всего года положителен, т. е. вода получает тепло за счет солнечной радиации, причем величины R значительные, особенно в теплую половину года, когда радиационный приток является основной приходной частью теплового баланса.

В годовом ходе турбулентного потока тепла P наблюдаются периоды, когда $P > 0$ (холодная половина года) и $P < 0$ (летний период),

т. е. в зимний период водная поверхность теряет тепло в атмосферу, а летом происходит нагревание воды более теплым воздухом, натекающим с перегретой окружающей суши. В изменении теплосодержания воды B_T наблюдается в первую половину года нагревание ($B_T > 0$), а начиная с июля — охлаждение.

Перенос тепла течением (B_U), с количественной точки зрения, является величиной, которую следует учитывать при теплосбалансовых расчетах, причем эта величина положительна только в середине летнего периода, а в остальную часть года — отрицательна (таблица). Как показали расчеты, величина B_T на протяжении всего года действительно мала и составляет незначительную часть в тепловом балансе. Однако в годовом ходе этой величины наблюдаются положительные значения (вес-



Годовой ход испарения с водной поверхности.

на и лето), когда происходит приток тепла от дна реки (хоть и незначительный), и отрицательные (в остальную половину года), т. е. поток тепла от воды в грунт.

Для оценки вклада переноса тепла течением были рассчитаны величины испарения с учетом и без учета B_U . Результаты расчетов представлены в таблице и на рисунке, где величина E — испарение, рассчитанное без учета B_U , а E_U — с учетом. Прежде всего следует отметить, что испарение имеет четко выраженный годовой ход с максимумом в июле и минимумом в декабре—январе. Как видно из рисунка, учет притока тепла, переносимого течением, особенно важен в летний период, когда ошибки из-за недоучета его достигают 15—17% месячной суммы испарения.

Весной, осенью и зимой абсолютная разница между E_r и E_U невелика, хотя относительные ошибки возрастают из-за малой величины испарения. Годовые суммы испарения с учетом и без учета B_U почти одинаковы, так как в некоторые месяцы течение выносит тепло, а в другие — приносит, что в годовой сумме дает величину, близкую к нулю.

Поскольку на описываемом участке Амударьи непосредственных наблюдений за испарением не проводится, были использованы данные по плавучему испарителю ст. Часкак, расположенной на водохранилище в 100 км от рассматриваемого участка. В показания испарителя по рекомендациям В. И. Кузнецова [2] был введен редуцированный коэффициент 0,9. На рисунке и в таблице приведен годовой ход испарения по ст. Часкак ($E_{ст}$). В отдельные месяцы различия в рассчитанном и наблюдавшемся испарении достигают значительных величин (до 50 мм). Годовые суммы отличаются незначительно и соответственно равны 1840 и 1813 мм.

Таким образом, проведенное исследование показало возможность применения метода теплового баланса для расчета испарения с водной поверхности реки.

При этом необходимо отметить, что в отличие от расчетов испарения водоемов в данном случае появляется дополнительная составляющая (перенос тепла течением), которую следует учитывать. Приближенная оценка потока тепла в грунт показала, что по сравнению с другими составляющими он незначителен. Однако для точного выяснения этого факта необходимо поставить специальные исследования. Дополнительные экспериментальные работы необходимо провести и для установления величины альбедо сильно замутненной воды и изменчивости его как в течение суток, так и в годовом ходе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будыко М. И. Испарение в естественных условиях, Л., Гидрометеониздат, 1948.
2. Кузнецов В. И. Расчеты испарения с поверхности открытых и зарастающих водоемов на основе данных экспериментальных исследований. Материалы межведомственного совещания по проблеме изучения и регулирования испарения с водной поверхности и почвы, Валдай, 1964.
3. Милькис Б. Е., Саатов М. С. Радиационный баланс Каттакурганского водохранилища, «Вопросы гидротехники», вып. 6, Изд-во АН УзССР, 1962.
4. Тимофеев М. П., Кирилова Т. В. О расчете радиационного баланса водоемов по радиационному балансу суши, «Метеорология и гидрология», 1959, № 11.
5. Тимофеев М. П. Метеорологический режим водоемов, Л., Гидрометеониздат, 1963.
6. Penman H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass, *Proc. Roy. Soc., London, sect. A*, vol. 193, № 1, 1948.

Л. Н. ПОБЕРЕЖСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙТРОННОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ, ГРУНТОВ И СТРОЙМАТЕРИАЛОВ В ПРИМЕНЕНИИ К ВОДНОБАЛАНСОВЫМ РАСЧЕТАМ

Известно более 30 методов количественного определения влажности почв, отличающихся друг от друга по физическим основам, условиям применения, трудоемкости и точности. В практике наиболее широкое применение получил термостатно-весовой метод, позволяющий получить результаты лишь через 2—3 дня после начала наблюдений, которые зачастую оказываются устаревшими для практического применения.

Использование термостатно-весового метода при водно-балансовых измерениях чрезвычайно затруднено, так как невозможно производить измерения в одной точке хотя бы дважды из-за того, что приходится извлекать образец из почвы. Переход на другую точку неизбежно приводит к погрешностям, связанным с естественной вариацией влажности по площади.

Таким образом, перед наблюдателем, определившим влагозапас известного слоя почвы в начале (W_n) и в конце (W_k) расчетного периода, возникает вопрос, является ли найденное изменение влаги $W_n - W_k = \Delta W$ функцией времени или функцией пространственной изменчивости почвенной влажности, величина которой может достигать 20% от W_k [4].

Поэтому для водно-балансовых измерений наиболее перспективен нейтронный метод, который позволяет длительное время проводить наблюдения в постоянных точках и по точности не уступает термостатно-весовому, взятому с большой повторностью [5, 6]. Он основан на взаимодействии быстрых нейтронов с ядрами водорода окружающей среды. Быстрые нейтроны, испускаемые источником, находящимся в почве, подвергаются актам рассеяния на ядрах элементов окружающей среды, теряют энергию и замедляются. Замедлившись до энергий теплового равновесия с молекулами среды (около 0,25 эв), т. е. став тепловыми, они некоторое время (измеряемое долями миллисекунд) диффундируют в среде и захватываются ядрами ее элементов, что сопровождается испусканием захватного гамма-излучения. Плотность тепловых нейтронов и интенсивность захватного гамма-излучения пропорциональны влажности среды.

На этой основе В. А. Емельяновым [3] и Л. И. Бескиным¹ был предложен прибор, получивший название нейтронного индикатора

¹ Разрабатываемый универсальный нейтронный влагомер (НВУ-1) в отличие от нейтронного индикатора влажности позволит проводить дополнительные измерения влаги верхнего горизонта почвы.

влажности (НИВ-1). Он оказался наилучшим среди других советских образцов и с 1964 г. поступил в серийное производство.

Опыт почти двухлетней работы с прибором НИВ-1 позволил нам разрешить некоторые вопросы, связанные с более эффективным использованием измерительной аппаратуры.

Экспозиция и повторность¹. Радиоактивный распад имеет флюктуацию, т. е. число частиц, распадающихся в единицу времени, не строго постоянно, а имеет некоторый разброс относительно среднего числа актов распада. Отсюда следует, что занижение экспозиции может привести к росту вероятной ошибки в результате флюктуации, но ее завышение приводит к нерациональной трате времени, что нежелательно, особенно при массовых измерениях. Это в равной степени относится и к повторности с той лишь оговоркой, что однократная повторность счета в почве и особенно в контрольно-калибровочном устройстве (ККУ) вообще недопустима, так как единичный отсчет может быть случайным.

Для выяснения оптимальной экспозиции и повторности был поставлен специальный опыт.

На калибровочной скважине, армированной тонкостенной дюралевой трубой с глухим дном, производились замеры интенсивности счета в ККУ и почве при экспозиции в 1, 3, 5, 10, 20 и 30 мин. По полученным данным вычислялась абсолютная влажность в процентах от объема, а по средней ее величине определялась оптимальная экспозиция ($t_{опт}$). Затем при заданной экспозиции измерялись те же величины в 1-, 2-, 5-, 10-, 20- и 30-кратной повторности.

Таблица 1

Интенсивность счета в разных средах ($\frac{\text{имп./мин.}}{64}$) и влажность почвы (% об.) при различной экспозиции (среднее из пяти опытов)

Параметры счета	Интенсивность счета при экспозиции, мин.						Среднее
	1	3	5	10	20	30	
$I_{\text{кку}}$	24,8	24,7	24,9	24,8	24,6	24,9	24,8
$I_{\text{почв}}$	34,6	33,1	32,8	33,0	33,2	33,2	33,2
$K = \frac{I_{\text{почв}}}{I_{\text{кку}}}$	1,395	1,340	1,317	1,330	1,349	1,333	1,344
$W_{\%}$	33,8	30,2	29,8	29,5	30,9	29,7	30,4
Отклонение от среднего, %	10,0	0,7	2,0	3,0	1,6	2,3	—

Анализ данных табл. 1, 2 показывает, что при экспозиции $t = 1$ мин. результаты определения влажности получаются завышенными в среднем на 10%. Это может быть как следствием флюктуации, так и результатом повышенного потенциала батарей питания в начале работы. При $t = 3$ мин. соответствующее отклонение составило всего 0,7%. Эта экспозиция позволяет набрать большое число импульсов, свести к минимуму случайные ошибки, сравнительно экономична и поэтому может быть рабочей.

¹ В данном случае под повторностью мы понимаем число отсчетов по прибору на каждой данной глубине.

Интенсивность счета в разных средах $\left(\frac{\text{имп./3 мин.}}{64} \right)$ и влажность почвы
при разном числе повторностей (среднее из пяти опытов)

Параметры счета	Интенсивность счета (сред. из числа повторств.)							Сред- нее
	1	2	3	5	10	25	30	
$I_{\text{кку}}$	75,5	75,2	75,1	74,9	75,1	74,9	75,2	75,1
$I_{\text{почв}}$	99,5	99,2	99,5	99,6	99,7	99,3	99,3	99,4
$K = \frac{I_{\text{почв}}}{I_{\text{кку}}}$	1,318	1,319	1,325	1,329	1,328	1,325	1,320	1,324
$W\%$	28,9	28,9	29,2	29,4	29,4	29,2	29,9	29,1
Отклонение от сред., %	0,7	0,7	0,4	1,0	1,0	1,4	0,4	—

Из табл. 2 видно, что вычисленные величины влажности почвы относительно слабо зависят от числа повторностей измерений (отклонение от среднего не превышает 1%). В данном случае это объясняется стабильностью пересчетного устройства, что бывает далеко не всегда.

Практика работы с прибором НИВ-1 показала, что наилучшей, т. е. обеспечивающей наибольшую точность при наименьших затратах труда и времени, является двукратная повторность измерений. Если отклонение между двумя смежными отсчетами превышает 5%, то необходимо брать третий.

Возможность измерения влажности верхнего горизонта почвы прибором НИВ-1. Быстрые нейтроны, испускаемые источником, диффундируют в среде и захватываются ядрами ее элементов в случае, если среда безгранична. Соответственно при граничной среде часть нейтронов будет выходить за ее пределы. Границы среды определяются радиусом сферы их действия, который в свою очередь зависит от влажности почвы и определяется по формуле:

$$R = 15 \sqrt[3]{\frac{100}{W}}$$

где R — радиус сферы действия нейтронов, см.

W — влажность почвы в процентах от объема.

Таким образом, наименьшая глубина измерений влажности прибором НИВ-1 (h) должна быть больше или равной радиусу сферы (R), среднее значение которого составляет 25—30 см. Так как нейтроны собирают максимум информации о влажности на участках, близлежащих к центру сферы, а к периферии объем ее резко убывает [2], мы не имеем сведений о влажности самого верхнего слоя почвы, наиболее динамичного.

Для получения этих данных можно будет пользоваться НВУ-1, который пока не вышел за пределы лабораторных испытаний. При работе с этим прибором влажность верхнего горизонта определяется путем прикладывания стандартного замедлителя к поверхности почвы, когда зонд прибора находится в горизонтальном положении. При этом для соблюдения плотного и полного соприкосновения между нижней

поверхностью стандартного замедлителя и почвой специальным стругом, входящим в комплект прибора, срезается верхний почвенный слой. В этом заключается существенный недостаток универсального влагомера для воднобалансовых измерений, так как наблюдатель, срезая верхний слой почвы (очевидно, вместе с травянистой растительностью), нарушает ее водный режим. Вторично производить измерения в этой точке уже нельзя, а переход на другую, даже расположенную в непосредственной близости, может привести к несравнимости ряда из-за естественной вариации влажности.

Поэтому мы попытались откалибровать прибор НИВ-1 отдельно для верхнего горизонта почвы, т. е. для глубины $h < R$. Из физических основ нейтронного метода следует, что наилучшие результаты в этом случае будут тогда, когда весь детектор находится в однородной среде (за наименьшую мы приняли глубину, равную длине зонда прибора — 13—15 см).

Калибровочная зависимость (рис. 1) получена экспериментально в искусственной емкости размером $50 \times 50 \times 50$ см с суглинком объемным весом $1,21 \text{ г/см}^3$. Начальная влажность почвы, определенная термостатно-весовым методом в 20-кратной повторности, равнялась $5,5\%$ с учетом объемного веса. При этой влажности определялась скорость счета в скважине, оборудованной в центре емкости и армированной спиральной трубой. Затем почва постепенно увлажнялась, и спустя сутки после каждого увлажнения вновь определялась скорость счета. В течение всего опыта сохранялась 20-кратная повторность термостатно-весовых определений.

Кривая (рис. 1), полученная в результате описанного эксперимента, представляет собой калибровочную зависимость для измерения влажности верхнего горизонта почвы прибором НИВ-1.

Экспериментальная проверка (табл. 3) калибровочной кривой проводилась в течение июля—сентября 1964 г. с периодическим повторением по мере иссушения почвы. Из табл. 3 видно, что наибольшая абсолютная ошибка измерений по калибровочной кривой ($2\text{—}3\%$) бывает при крайних значениях влажности почвы. Это объясняется выполаживанием калибровочного графика в диапазонах больших и малых значений влажности. Наилучшие результаты (с абсолютной ошибкой

Таблица 3

Сравнение величин влажности верхнего горизонта почвы, рассчитанных по кривой (рис. 1) и определенных термостатно-весовым методом (коричневая темная почва под лугом)

$K = \frac{I_{\text{почв}}}{I_{\text{кку}}}$	Влажность почвы, %		Ошибка прибора	
	по кривой (рис. 1)	терм.-вес. мет.	абс., % об.	отн., %
0,568	27,5	24,5	3,0	10,9
0,522	20,5	21,7	—1,2	—5,8
0,483	18,0	17,0	1,0	5,6
0,460	16,8	16,5	0,3	1,8
0,430	15,2	15,0	0,2	1,3
0,425	15,0	15,9	—0,9	—6,0
0,353	10,2	12,2	—2,0	—19,6
0,338	8,0	10,9	—2,9	—36,3
0,355	7,5	5,9	1,6	27,1

около 1%) — в диапазоне влажности почвы от 11 до 23% к объему, т. е. на участке с наибольшим углом наклона к оси абсцисс. В этом же диапазоне относительная ошибка наименьшая, хотя она возрастает пропорционально иссушению почвы.

Поскольку при измерениях влажности верхнего горизонта среда гранична и часть нейтронов, покидая пределы почвы, вылетает в атмосферу, важно особо рассмотреть вопрос о технике безопасности при работе с прибором НИВ-1 в этих условиях.

Радиоактивное излучение в атмосфере, возникающее при помещении нейтронного источника в верхнем слое почвы, изучалось при помо-

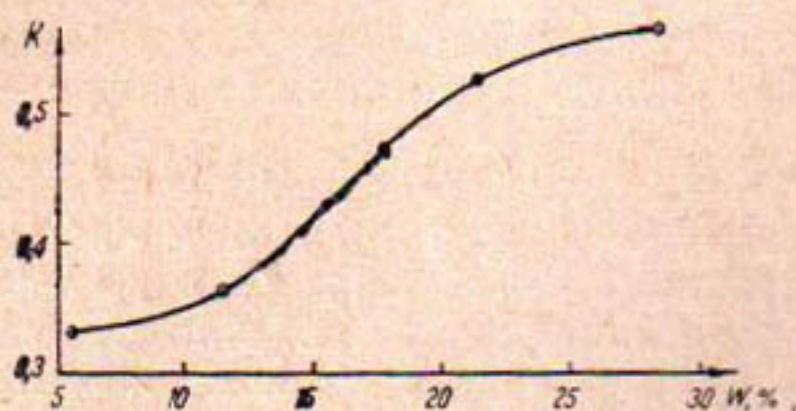


Рис. 1. Зависимость относительной скорости счета от влажности верхнего горизонта почвы (погружение зонда на глубину, равную его длине).

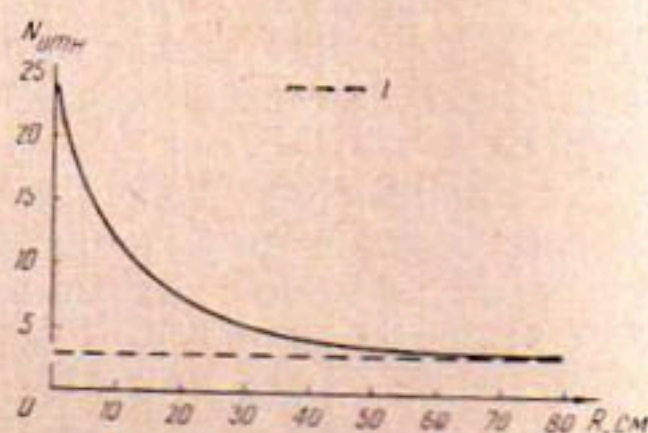


Рис. 2. Радиоактивное излучение в атмосфере (N) при расположении зонда в верхнем горизонте почвы в зависимости от расстояния от скважины (R).
1 — натуральный фон.

щи радиометра СРП-2 («Кристалл») № 12 300. Эталонирование его произведено 24 мая 1965 г. в период с 11.30 до 13 час. Осредненные результаты трех опытов с выражением радиации в относительных единицах (рис. 2) показывают, что наибольшая ее интенсивность, составляющая около 200 мкр/час (24 отн. единицы), — непосредственно у скважины. С удалением от нее интенсивность радиации быстро падает и на расстоянии 70—80 см не превышает натуральный фон. Так как длина кабеля прибора НИВ-1 — 6 м, а расход его на погружение с учетом ККУ и обсадной трубы не превышает 1 м, то наблюдатель в период работы может находиться на расстоянии 5 м от скважины, что полностью исключает возможность облучения.

Интегральный метод определения общих влагозапасов почв. Методические указания по измерению влажности почвы нейтронным методом, созданные во ВНИИГиМе [1], предусматривают работу по способу, который мы будем называть точечным. Он заключается в том, что зонд прибора с источником быстрых и детектором медленных нейтронов опускается в скважину на нужную глубину и в данной точке фиксируется весь период наблюдений. Затем зонд перемещается ниже и вновь фиксируется и т. д.

В связи с тем, что зонд собирает информацию о влажности из некоторой сферы с переменным радиусом, две смежные точки измерений выбирают таким образом, чтобы расстояние между ними было не меньше ее вертикального радиуса. При этом могут возникать погрешности как за счет преуменьшения радиуса, когда сферы действия нейтронов накладываются одна на другую и результаты осредняются, так и за счет его преувеличения, когда между сферами появляется объем почвы, влажность которого оказывается неучтенной. Это обстоятельство

приобретает большое значение при наличии относительных водоупоров и близкого залегания уровня грунтовых вод.

Л. И. Бескиным во ВНИИГиМе проведены специальные исследования по определению относительной скорости счета при расположении зонда в резко различных по водосодержанию средах (воздух, парафин, песок) и на границах между ними. Из этого опыта следует два важных положения: изменение скорости счета происходит плавно, без скачков, причем увеличение (уменьшение) ее происходит при приближении зонда к среде с резко большим (меньшим) водосодержанием; при помещении зонда на границе двух сред, последний собирает информацию о водосодержании (влажности) как одной, так и другой среды, т. е. дает некоторое средневзвешенное по глубине значение влажности.

Эти выводы позволили нам разработать новый метод измерения влагозапасов почв с помощью прибора НИВ-1. Сущность его заключается в перемещении зонда прибора по скважине с постоянной скоростью, когда сферы действия накладываются друг на друга по всей глубине, давая таким образом среднюю величину влажности почвы в данном слое (рис. 3).

Произведение этой влажности, выраженной в процентах от объема, на мощность исследуемого слоя дает величину запасов влаги в почве.

Методика измерений влагозапасов интегральным методом состоит в следующем.

На соединительном кабеле отмечают максимальную (фиксатором) и минимальную (краской) глубины измерений. Затем включают пересчетное устройство и секундомер, одновременно с этим начиная перемещение зонда по скважине. Опыт работы показал, что наиболее удобной и обеспечивающей достаточную точность является 4-кратная повторность перемещения (вниз — вверх — вниз — вверх) со скоростью 2 см/сек, что составляет одно деление на кабеле (10 см) за 5 сек. по секундомеру.

Проверка интегрального метода определения общих запасов влаги, произведенная в июле—сентябре 1964 г. на темно-бурой почве под ореховым лесом, показала, что этот метод по точности не уступает то-

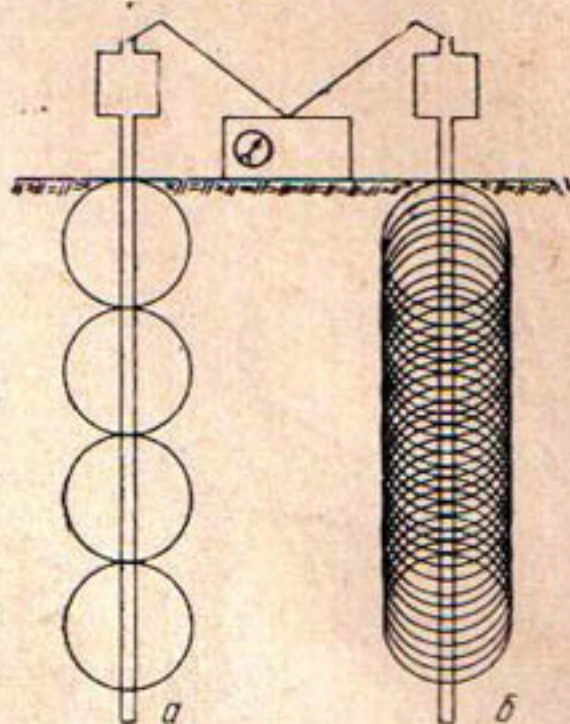


Рис. 3. Схема измерения влажности почвы прибором НИВ-1. а — точечный метод, б — интегральный.

Таблица 4

Результаты определения влагозапасов интегральным и точечным методами (темно-бурая почва под лесом)

Запас влаги мм в слое почвы 0—150 см		Ошибка интегрального метода	
интегральный метод	точечный метод	абс., мм	отн., %
509,5	508,9	0,6	0,1
463,3	462,1	1,2	0,3
411,8	413,0	—1,2	—0,3
325,2	327,1	—1,9	—0,6
309,3	311,0	—1,7	—0,5
287,2	286,0	1,2	0,4
286,4	285,1	1,3	0,5

чечному и тогда, когда последний производится с учащенными глубинами измерений, зависящими от радиуса сферы действия нейтронов (табл. 4).

В других случаях, например, при измерениях через каждый метр, интегральный метод дает более точные результаты, так как исключает ошибки, связанные с недоучетом влаги в почве, заключенной между сферами действия нейтронов.

Хронометражем установлено, что при работе интегральным методом можно в 3—5 раз сократить время, необходимое для измерения

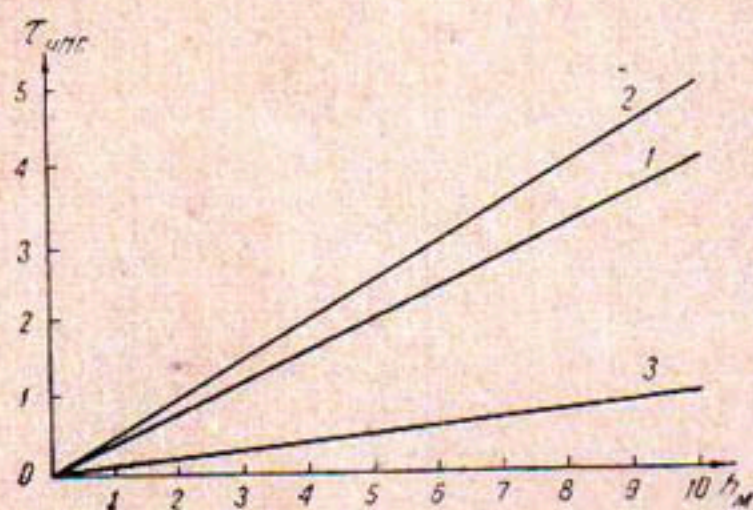


Рис. 4. График для расчета времени, необходимого для измерения влажности почв прибором НИВ-1 в зависимости от глубины скважины при измерениях через 0,5 м. 1 — точечный метод в 2-кратной повторности, 2 — то же в 3-кратной, 3 — интегральный метод.

средней влажности почв в заданном слое (рис. 4). Это особенно важно при определении мгновенных влагозапасов (измерения непосредственно до и после дождя, интенсивного снеготаяния, полива и т. д.).

Интегральный метод весьма перспективен в плане решения вопросов автоматизации измерений влажности почвы на основе нейтронного метода. Он может найти широкое применение везде, где требуется быстро измерить общие влагозапасы заданного слоя почвы независимо от их распределения по глубине.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов В. А., Зайцев А. И., Бескин Л. И. Методические указания по измерению влажности почвы в полевых условиях с помощью гамма-лучей и нейтронов, М., ВНИИГИМ, 1961.
2. Емельянов В. А. Гамма-лучи и нейтроны в полевых почвенно-мелиоративных исследованиях, М., Госатомиздат, 1962.
3. Емельянов В. А. Нейтронный индикатор влажности, «Гидротехника и мелиорация», 1964, № 9.
4. Константинов А. Р. Сопоставление различных методов определения испарения, Тр. ГГИ, вып. 45 (99), Гидрометиздат, 1954.
5. Спинкс Дж. Использование радиоактивных изотопов для изучения специальных проблем в сельском хозяйстве и лесоводстве, Докл. иностранных ученых на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1955, Изд-во АН СССР, М., 1956.
6. Ярвела Х. А. Оценка точности измерений влажности почво-грунтов нейтронным методом в полевых условиях, Изв. ТСХА, вып. 3 (46), 1962.

М. И. ГЕТКЕР

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И РАСЧЕТ ОСАДКОВ В БАССЕЙНЕ АМУДАРЬИ

Закономерности распределения и расчет осадков в бассейне Амударьи рассматривались некоторыми исследователями, например [8, 9], однако полученные результаты неполны и мало пригодны для использования. Поэтому мы обобщили все имеющиеся материалы наблюдений осадкомерной сети УГМС. Распределение по высотным зонам и продолжительность работы пунктов осадкомерных наблюдений приведены ниже:

Высотная зона, м	Число пунктов	Период наблюдений, лет	Число пунктов
300—800	65	менее 5	49
800—1500	65	5—10	78
1500—2000	36	10—20	94
2000—3000	64	20—30	38
3000—4000	43	более 30	21
4000—4500	7		

Значительное число составляют высокогорные пункты с очень короткими рядами наблюдений (< 5 лет), для которых даже приведение к многолетнему периоду по опорным станциям не всегда гарантирует от значительных ошибок. Однако игнорирование этих данных может привести к значительно большим территориальным ошибкам. Так, В. Н. Сушевский [8], не использовавший данные по суммарным осадкомерам, ошибочно получил максимум осадков для южного склона Гиссарского хр. на высоте 1,5—2 км, тогда как в действительности количество их здесь увеличивается до гребней гор. Нужно также отметить, что большая часть пунктов с $H > 3500$ м относится к территории Восточного Памира, где количество осадков не зависит от высоты.

Поскольку гидрологов часто интересуют отдельно суммы жидких и твердых осадков и их внутригодовое распределение, то именно они были выбраны из таблиц наблюдений. Смешанные осадки, составляющие 10—30% годовой суммы, были разделены поровну между твердыми и жидкими, как это сделал в свое время В. Л. Шульц. Собранные данные приведены к периоду 1933—63 гг. путем построения графиков связи с опорными метеостанциями. Отклонение среднего за 1933—63 гг. от среднего за 50 и более лет не превышает 3%. Для пунктов с периодом наблюдений менее пяти лет графики связи не строили, среднее за период наблюдений умножили на средний коэффициент по близлежащим опорным станциям.

Долю твердых и жидких осадков для суммарных осадкомеров определяли по зависимостям (рис. 1), построенным по данным метеостанций и постов. Кривая 1 относится к бассейну Кашкадарьи и равнинной и предгорной частям бассейна Зарафшана, открытых для холодных северных и северо-западных вторжений; кривая 2 — к бассейнам Вахша, Пянджа, Кафирнигана и Сурхандарьи (зона зимне-весеннего максимума осадков); кривая 3 — к районам весенне-летнего

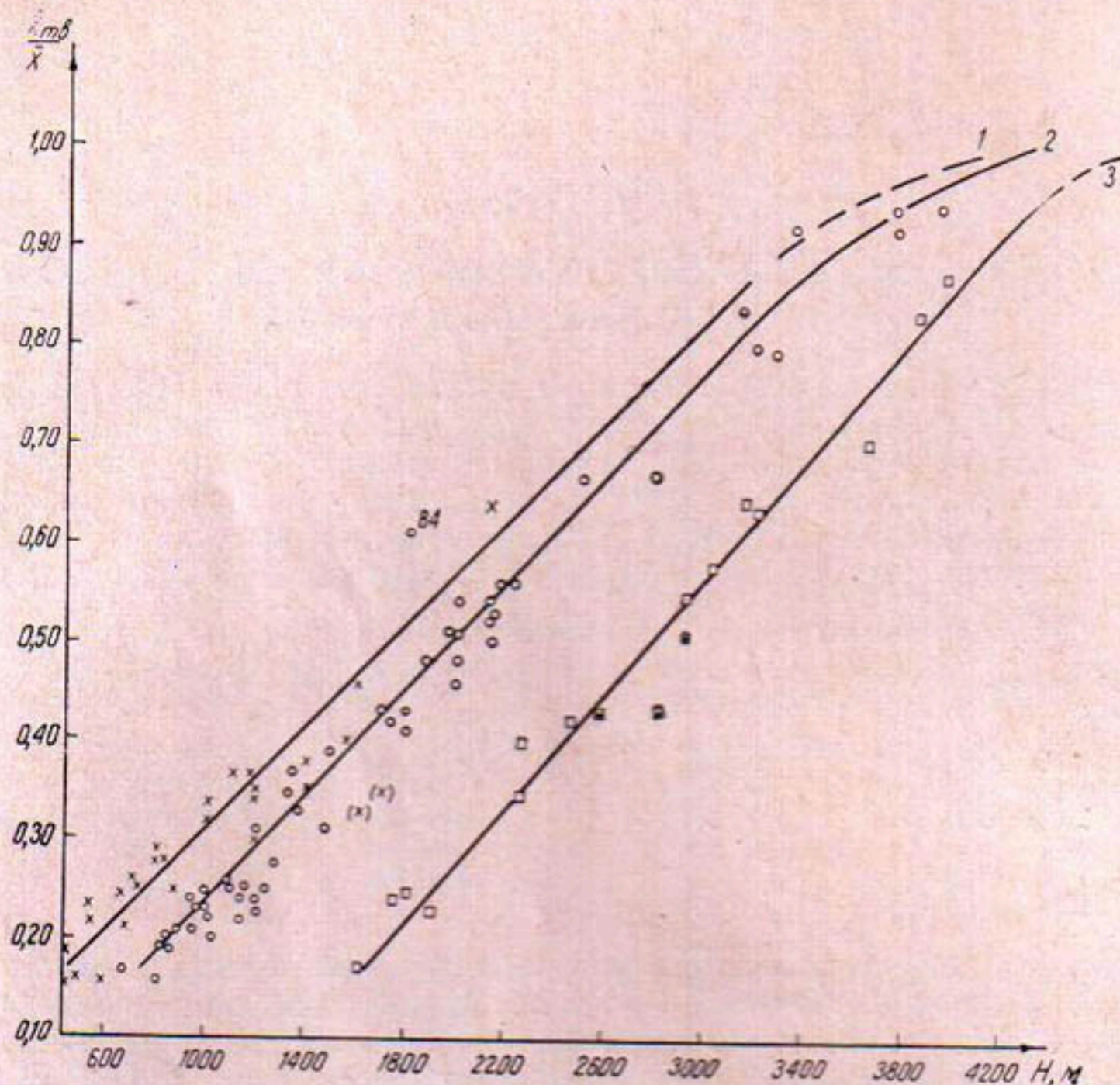


Рис. 1. График зависимости доли твердых осадков в годовой сумме от высоты. Районы зимне-весеннего максимума осадков:

1 — бассейн Кашкадарьи, 2 — бассейн Сурхандарьи, Кафирнигана, часть бассейнов Вахша, Пянджа; районы весенне-летнего максимума осадков: 3 — дно долины Зарафшана, Алайская долина, Восточный Памир.

максимума осадков (дно долины Зарафшана до высот 3000 м, Алайская долина, Восточный Памир).

Резкое отклонение отдельных точек от зависимостей, представленных на рис. 1, косвенно указывает на существенные ошибки в измерении твердых осадков, которые в большинстве случаев являются следствием влияния на количество твердых осадков местных особенностей ветрового режима. Таковы пункты бассейна Кашкадарьи — Куюк, Чепух, Шут и другие, бассейн Кафирнигана — Рамит, Файзабад, Анзобский перевал. Занижение твердых осадков здесь подтверждается резким отклонением соответствующих точек от районных зависимостей слоя твердых осадков от высоты. Оно имело место до смены дождемера на осадкомер с защитой Третьякова и на наиболее высоко рас-

положенной метеостанции ледник Федченко. Средняя сумма осадков после этой замены увеличилась с 800 до 1130 мм.

Завышение твердых осадков обнаружено лишь для поста Ходжаобигарм ($H=1800$ м); доля их в годовой сумме составила здесь 0,61, а по соответствующей кривой эта величина равна 0,46, т. е. расхождение достигает 33%, тогда как подавляющее большинство точек укладывается в 10% границы случайного рассеивания. Завышение твердых осадков здесь обусловлено, по-видимому, какими-то дефектами производства наблюдений в зимний период; возможно также влияние надувания в осадкомерное ведро. Доля твердых осадков в годовой сумме для указанных выше пунктов определена по зависимостям рис. 1, и в последующих расчетах использованы исправленные значения слоя твердых осадков.

Расчет и распределение в бассейне Амударьи нормы жидких, твердых и суммарных осадков. Расчет гидрометеорологических элементов в пределах горной территории производится на основе выявления зависимостей этих элементов от высоты местности, хотя имеется ряд факторов (например, экранированность района), оказывающих большее влияние на количество осадков, но трудно поддающихся количественному выражению. Кроме того, нужно иметь в виду, что эти факторы обычно действуют одновременно и определить количественный эффект их влияния, особенно при существующей редкой сети в горах, невозможно.

Предпринятая попытка количественного учета влияния ориентации отдельных бассейнов на их увлажненность (по способу И. А. Гарцмана) на материалах довольно густой осадкомерной сети бассейнов рек Кашкадарьи и Сурхандарьи оказалась неудачной. Аналогичный результат получился и при использовании иных показателей ориентации (азимут основного ствола долины, средне-взвешенная ориентация склонов долины), отличных от предложенного И. А. Гарцманом. В пределах этой территории влияние ориентации перекрывается другим фактором — близостью отдельных бассейнов к основному орографическому барьеру на пути влагоносных масс воздуха — Гиссарскому и окончанию Зарафшанского хребтов. Так, на территории Сурхандарьи наиболее благоприятно ориентированы главные стволы долин Ширабада и Туполанга (ЮЗ, азимуты 190 и 185°); ориентация долины р. Сангардак значительно хуже (ЮВ, 110°), тем не менее самая низкая увлажненность в наиболее удаленном от Гиссарского хребта бассейне р. Ширабад: слой осадков здесь на 150—200 мм меньше, чем в бассейне р. Сангардак (на соответствующих высотах).

Заметим, что аналогичная ситуация наблюдается и в Ферганской котловине, где увлажненность практически одинаково ориентированных склонов повышается по мере приближения к основному орографическому барьеру — Ферганскому хребту. Поэтому основой изучения распределения осадков по бассейну Амударьи послужили зависимости осадков от высоты, представляющие к тому же самостоятельный интерес.

Общее число построенных зависимостей для суммарных осадков — 25 (рис. 2); число зависимостей сумм жидких и твердых осадков несколько иное (21 и 24), что частично связано с различием во внутригодовом распределении осадков. Рассеивание точек относительно зависимостей $X=f(H)$ в 85% случаев не превышает 10%. В действительности районов, различных по степени увлажнения, конечно, значительно больше, однако выделить их при современной метеорологической изученности невозможно.

Следует отметить, что на периферийных склонах бассейна Амударьи четко прослеживается непрерывность в изменении увлажненности территории, можно предполагать ее и во внутренних районах, где сильно меняются условия доступности, однако именно там густота сети наименьшая. Кроме того, выделить отдельные районы на периферийных склонах помогают зависимости жидких осадков от высоты, кото-

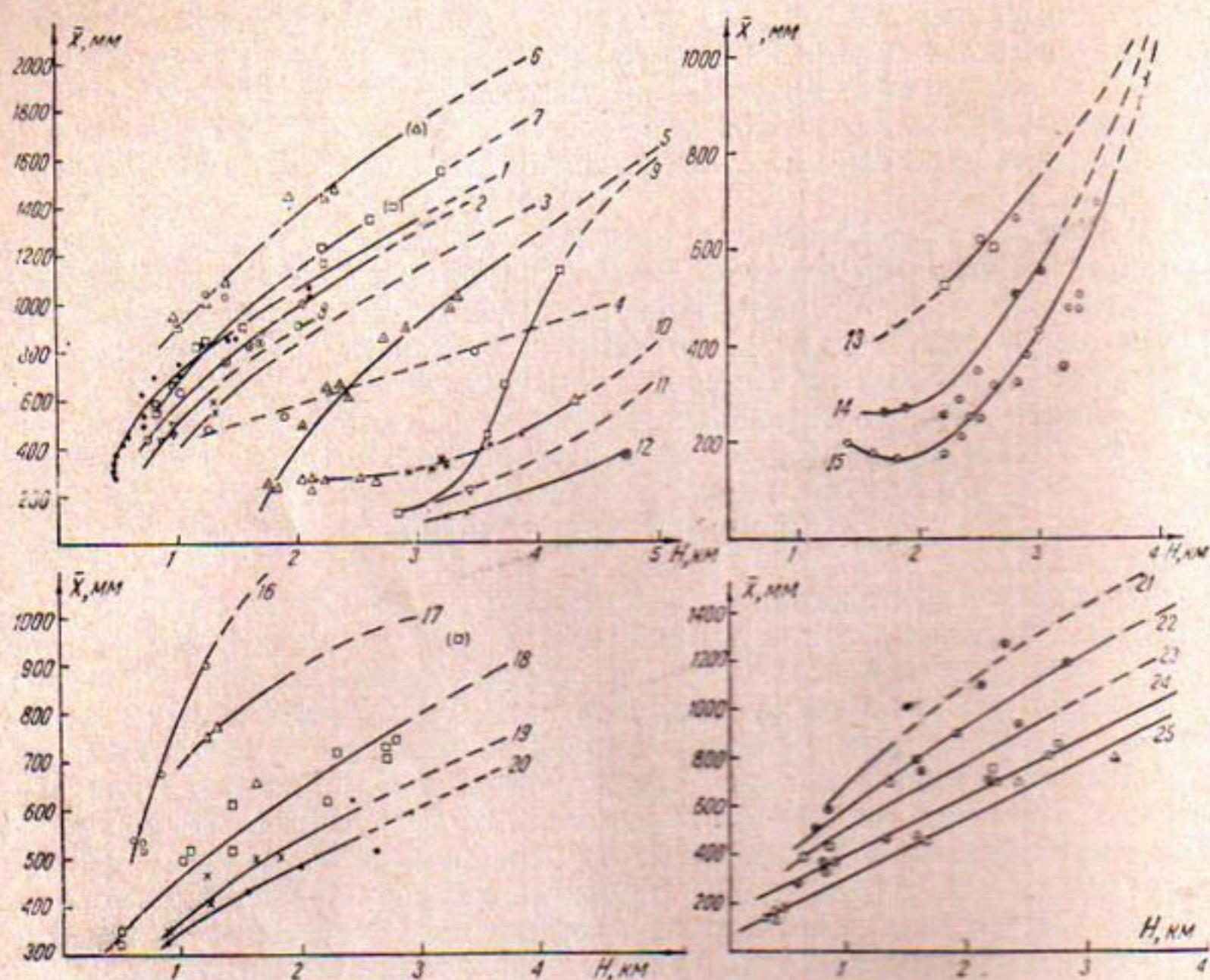


Рис. 2. Графики зависимости среднего слоя годовых осадков от высоты:

1 — бассейны рек Кызысу, Яхсу, Явансу; 2 — бассейн р. Иляк, нижнее течение Обихингоу; 3 — бассейн р. Обиминьоу, восточный склон южного окончания р. Хозретиши; 4 — бассейн р. Обихумбоу; 5 — бассейны р. Ванч, верховья Обихингоу; 6 — бассейны рек Сардаймвона, Сарбо, Сангикарр; 7 — бассейны рек Варзоб, Каратаг; 8 — район хр. Октау, Бабатаг; 9 — бассейн ледника Федченко; 10 — низовья рек Шахдара, Бартанг, Гунт; 11 — среднее течение рек Шахдара, Бартанг, Гунт; 12 — верховья рек Шахдара, Бартанг, Гунт (районы 10, 11, 12 относятся к территории Западного Памира; с — ориентировочная оценка по стоку); 13 — бассейн р. Ягноб; 14 — бассейн р. Искандердарья; 15 — бассейн р. Матча; 16 — хр. Каратепе; 17 — бассейны рек Кашкадарья, Джиньдарья; 18 — бассейны рек Аксу, Танхаз, Лингар; 19 — бассейн р. Якжабагдарья; 20 — бассейн р. Гузардарья; 21 — бассейны рек Шаргунь, Дашнабад; 22 — бассейн р. Туполанг; 23 — бассейн р. Сангардак; 24 — бассейны рек Ходжаипак, Байсунсай; 25 — бассейн р. Ширабад.

рые лучше вскрывают различия в общем увлажнении вследствие большей точности измерения жидких осадков и лучшей изученности нижних зон гор. Для Восточного Памира зависимость осадков от высоты отсутствует.

Не имея возможности детально остановиться на причинах различной увлажненности отдельных районов, отметим, что распределение осадков по бассейну Амударьи, естественно, в основном соответствует уже известному распределению стока. Максимум осадков приурочен к бассейнам Сарбо, Сангикарра и части бассейна Варзоба, где норма осадков (рис. 2) достигает 2000 мм на высотах свыше 3900 м. Предельной можно считать норму осадков в 2500 мм. Поскольку наблюдения

ми охвачены, как правило, нижние и средние зоны гор, встает вопрос об экстраполяции кривых $X=f(H)$.

Существует мнение [4], что зона максимальных осадков на территории Средней Азии приурочена к высотам 3000—3500 м; выше осадки убывают. Проверка различных способов экстраполяции кривых $X=f(H)$ по стоку, показала, что это положение весьма сомнительно для открытых склонов и совершенно неверно для внутригорных районов. Коэффициенты стока приближаются к 1 уже для водосборов с $H_{\text{ср}}=2800\text{—}3000$ м в бассейнах Сурхандарьи и Кашкадарьи и резко превышают 1 в бассейне Зарафшана (при введении в рассчитанные осадки 15% поправки за счет возможного недоучета осадков). Поэтому зависимости, как это видно из рис. 2, были экстраполированы по ходу освещенной части кривой с положительными градиентами.

Заметим, что И. А. Ильин [5], исследуя осадки метеорологически хорошо освещенной Ферганской долины, также проследил возрастание осадков до гребней гор. Реальность такой экстраполяции проверена построением зависимости коэффициента стока от $H_{\text{срв}}$ по лучше изученным районам бассейна Амударьи (рис. 3). Нижняя ветвь на рис. 3 относится к несколько хуже увлажненному бассейну Кашкадарьи, верхняя — к бассейнам Сурхандарьи, Кафирнигана и Зарафшана. Зависимость 3 служит и для контроля точности кривых $X=f(H)$. Отклонение точек от этой кривой за пределы 15% рассеивания, связанного с влиянием на сток неклиматических факторов, указывает на грубые ошибки в данных наблюдений или в принятой экстраполяции. Таким путем, например, была забракована кривая для притока Зарафшана — р. Кштут, где кривая $X=f(H)$ экстраполирована на основе данных двух суммарных осадкомеров с трехлетним периодом наблюдений и выявлена сомнительность кривой 4 (басс. Обихумбоу), экстраполированной на данные перевальной метеостанции Хабу-Рабат, где возможно занижение твердых осадков, составляющих подавляющую часть годовой суммы.

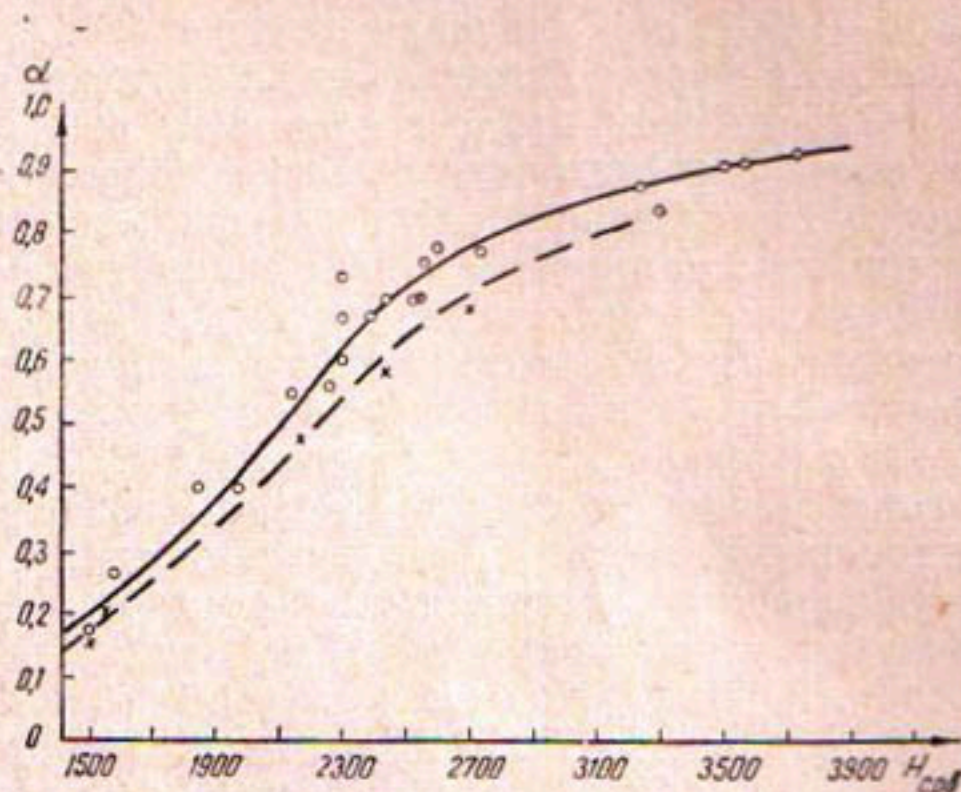


Рис. 3. График зависимости коэффициента стока от средневзвешенной высоты водосборов.

Анализ кривых $X=f(H)$, представленных на рис. 2, позволяет выделить два основных типа зависимости осадков от высоты. Кривые типа 1 характерны для открытых склонов, все зоны которых находятся в условиях одинаковой доступности влагоносным воздушным массам. Зависимости этого типа (при расположении осадков на оси ординат) являются выпуклыми, наибольшие градиенты — 50—100 мм на 100 м подъема приурочены к нижним зонам (до 1500 м), в средних и верхних они убывают до 50—30 мм на 100 м подъема.

Зависимости типа 2 характерны для районов, в которых условия выпадения осадков в верхних и нижних зонах гор резко различны.

Нижние зоны таких бассейнов (например, Матча, Муксу) экранированы высокими хребтами, в верхних же зонах условия выпадения осадков улучшаются за счет большей доступности, увеличения крутизны подъема воздушных масс, проникновения их из соседних, лучше увлажняемых районов, эффекта «орографического мешка» [6] и других причин. Кривые этого типа вогнутые, наименьшие градиенты (0—20 мм на 100 м подъема) приурочены к нижней части кривой, в средней и верхней они достигают 30—70 и даже 100 мм (бассейн ледника Федченко) на 100 м подъема. Среднегодовой слой осадков в верхних зонах этих бассейнов достигает иногда очень больших значений (до 1000—1400 мм в гляциальной зоне бассейна Зарафшана и до 1500—1600 мм в фирновой зоне ледника Федченко).

Зависимости, представленные на рис. 2, и построенная на их основе карта распределения осадков в бассейне Амударьи дают лишь общее представление о распределении осадков. Многих важных деталей (например, различия в увлажненности склонов отдельных долин, которое намечается в неплохо изученном бассейне р. Варзоб) при существующей сети нельзя выяснить. Поэтому зависимости и карты осадков могут быть использованы лишь для ориентировочных подсчетов. В этом плане нужно согласиться с В. Л. Шульцем [11], что расчет среднего стока по осадкам и коэффициенту стока не имеет на данном этапе преимуществ перед зависимостями $M_0 = f(H_{срв})$, хотя густая осадкомерная сеть уже и сейчас может способствовать уточнению картины распределения стока. Так, данные по стоку рек, стекающих с юго-восточных склонов отрогов Гиссарского хр., объединены В. Л. Шульцем и Л. И. Шалатовой [12] в одну зависимость, тогда как из анализа данных более густой осадкомерной сети вытекает наличие по крайней мере четырех различно увлажняемых районов, причем для равных высот различие в норме осадков составляет 150—400 мм.

Построение зависимостей среднего слоя жидких осадков позволило выявить общие закономерности их распределения по территории и высотным зонам. Увеличение слоя жидких осадков прослеживается до высот 1200—1400 м; на больших высотах (4000—4500 м) он убывает до нуля. Интервал высот 1000—1600 м, где, как это видно из рис. 4, 5, происходит уменьшение и смена знака градиентов, определяет зону «максимальной дожливости», в которой, по-видимому, создаются наиболее благоприятные климатические условия формирования значительного дождевого стока. Слой жидких осадков в этой зоне для различных районов периферийных склонов колеблется от 300 до 800 мм (Сарбо, Сардаймиона, Сангикарр). Во внутриворонных районах, где небольшие высоты отсутствуют, жидкие осадки с высотой непрерывно убывают. На уровне 1800 м в бассейне Кашкадарьи, 2000 м в бассейнах Сурхандарьи, Кафирнигана, Вахша и Пянджа и 2800 м в районах весенне-летнего максимума слой жидких осадков равен слою твердых. Зависимость количества твердых осадков от высоты здесь не приводится. Высотное положение изогнет годового слоя твердых осадков приведено в табл. 1.

Слой твердых осадков повсеместно возрастает до гребней гор; наименьшие градиенты — в нижних зонах гор. Характерная особенность большинства кривых $X = f(H)$ для периферийных склонов — приблизительное равенство градиентов в одинаковых высотных зонах. Различия в ориентации, экранированность и др. факторы сказываются в смещении кривых относительно друг друга, однако эффект от подъема воздушных масс по склону приблизительно один и тот же.

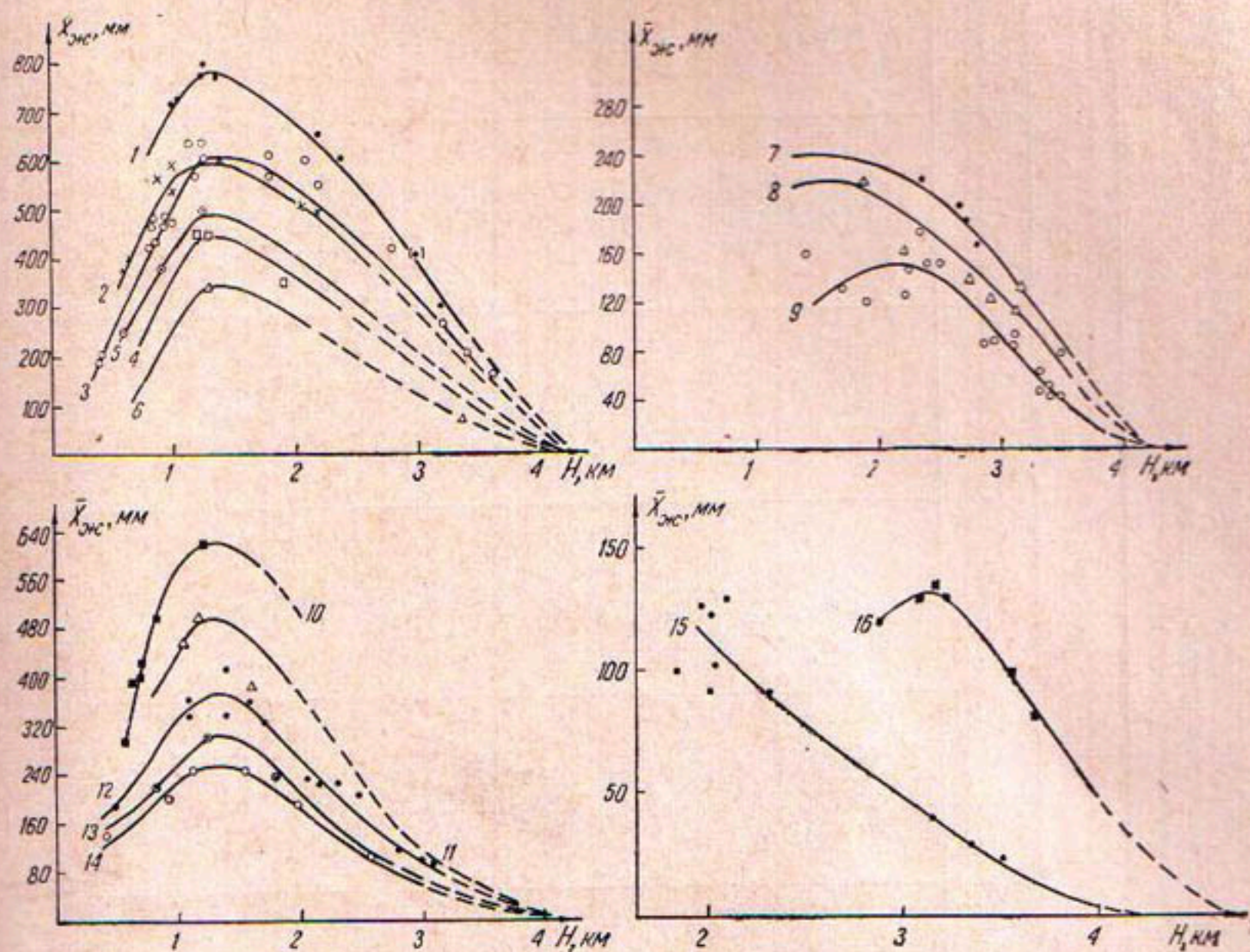


Рис. 4. График зависимости годового слоя жидких осадков от высоты:

1 — бассейн рек Сардаймюна, Сарбо, Сангикарр; 2 — бассейн р. Кызылеу (южн.); 3 — бассейны рек Варзоб, Каратаг; 4 — бассейн р. Обиминью; 5 — хр. Вабатаг, Актау; 6 — бассейн р. Обихумбоу; 7 — бассейн р. Ягноб; 8 — бассейн р. Искандердаря; 9 — бассейн р. Матча; 10 — южный склон хр. Каратепе; 11 — бассейны рек Кашкадаря, Джиньдаря; 12 — бассейны рек Аксу, Танхаз, Лян-гар; 13 — бассейн р. Яккабаг; 14 — бассейн р. Гузардаря; 15 — бассейны рек Гунт, Бартаг, Шахдара; 16 — Алайская долина.

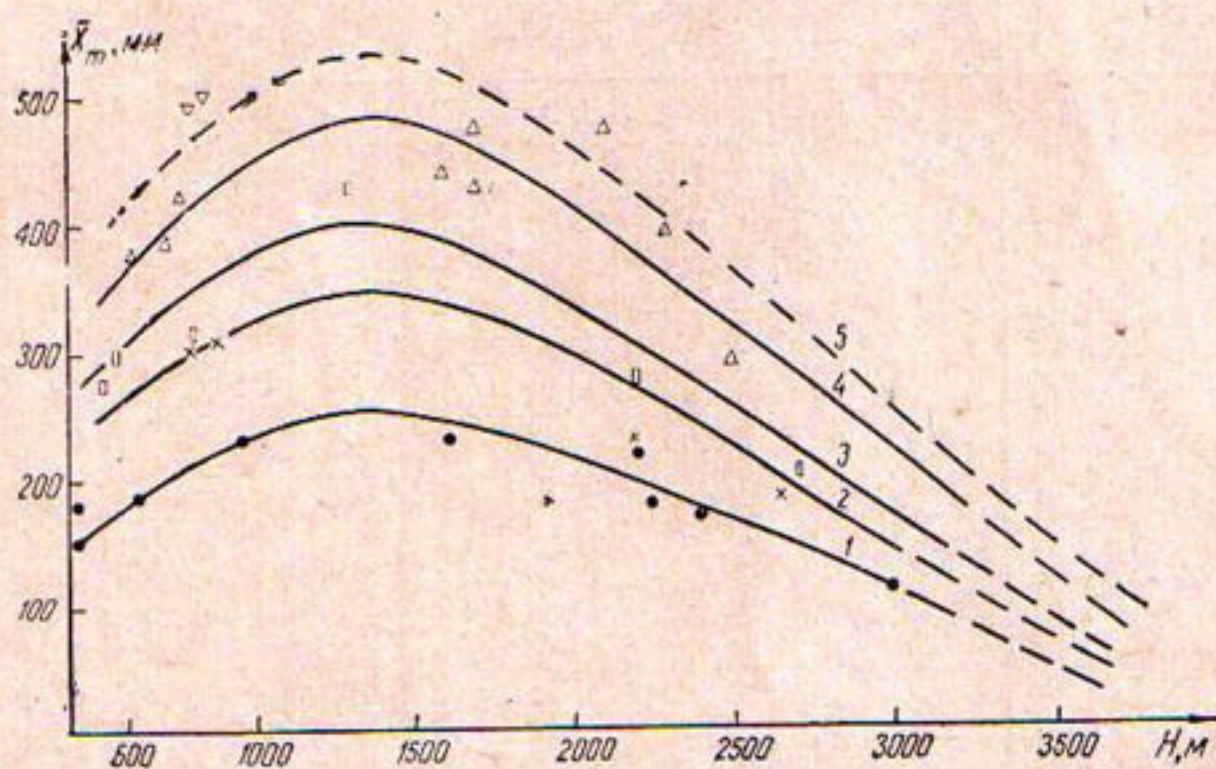


Рис. 5. График зависимости годового слоя жидких осадков от высоты:

1 — бассейн р. Ширабад; 2 — бассейны рек Ходжаипак, Байсунсай; 3 — бассейн р. Сангардак; 4 — бассейн р. Туполанг; 5 — бассейны рек Дашнабад, Шаргунь.

Высотное голожение изогнет среднегодового слоя твердых осадков
в бассейне Амударьи, м

Район (бассейн реки)	Изогнуты, мм						
	100	200	300	400	500	600	700
Ягноб	—	1800	2260	2600	2920	3200	3400
Искандердаря	2000	2400	2700	3000	3250	3440	3600
Матча	2360	2800	3100	3320	3480	3630	3740
Каратепе	600	850	1140	1400	1620	(1760)	—
Кашкадаря	700	980	1250	1550	1800	(2060)	(2300)
Лянгар	900	1330	1720	2050	2330	2650	2950
Яккабагдаря	980	1450	1900	2260	2640	3000	—
Гузардаря	1150	1700	2100	2450	2820	3200	—
Ширабад	1200	1650	1960	2260	2560	2820	3100
Ходжанипак, Байсун	1000	1480	1800	2000	2340	2600	2900
Сангардак	800	1200	1560	1850	2100	2360	2620
Туполанг	—	1020	1340	1600	1860	2100	2320
Каратаг, Варзоб	700	1100	1400	1620	1850	2030	2220
Кзылсу (южн.)	800	1200	1500	1720	1950	2160	2350
Иляк, низовья Обихингоу	950	1320	1630	1860	2100	2300	2500
Сарбо, Сангикарр	—	1000	1250	1460	1650	1830	2000
Ванч, верховья Обихингоу	—	1500	1900	2050	2270	2500	2690
Обихумбоу	(1000)	(1750)	(2150)	(2450)	(2730)	(3000)	(3250)
Хр. Бабатаг, Актау, ЮВ склон хр. Хозретиши	1000	1500	1800	(2350)	(2300)	(2500)	(2700)
Муксу	3000	3250	3420	3540	3650	3740	3850
Алайская долина	—	3120	3560	3930	4200	(4500)	(4750)
Низовья рек Гунт, Бартанг, Шахдара	1900	2900	3400	3800	4100	4400	(4700)
Ср. течение рек Гунт, Бартанг, Шахдара	—	(3300)	(3850)	4220	(4500)	(4800)	(5000)
Верхнее течение рек Гунт, Бартанг, Шахдара	—	3800	(4380)	(4800)	(5200)	—	—

Район (бассейн реки)	Изогнуты, мм						
	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Ягноб	(3620)	(3950)	(4200) ¹	(4400)	—	—	—
Искандердарья	(3720)	(4000)	(4250)	(4450)	—	—	—
Матча	(3840)	(4050)	(4300)	(4500)	—	—	—
Каратепе	—	—	—	—	—	—	—
Кашкадарья	(2560)	—	—	—	—	—	—
Лянгар	3250	—	—	—	—	—	—
Яккабагдарья	—	—	—	—	—	—	—
Гузардарья	—	—	—	—	—	—	—
Ширабад	3360	—	—	—	—	—	—
Ходжаипак, Байсун	3150	(3700)	(3860)	—	—	—	—
Сангардак	2860	3360	3460	(3900)	—	(3900)	—
Туполанг	2550	3000	3040	3350	(2650)	—	—
Каратаг, Варзоб	2400	2730	(3170)	(3450)	—	—	—
Кзылсу (южн.)	2530	(2870)	(3340)	(3600) ¹	(3900)	(3730)	(3940)
Иляк, низовья Обихингоу	2690	3020	2790	3050	3340	—	—
Сарбо, Сангикарр	2150	2470	(3540)	(3830)	(4160)	—	—
Ванч, верховья Обихингоу	2900	3230	—	—	—	—	—
Обихумбоу	(3500)	(3900)	(3510)	—	—	—	—
Хр. Бабатаг, Актау, ЮВ склон хр. Хозретиши	(2900)	(3200)	4225	(4520)	4950	—	—
Муксу	3940	4090	—	—	—	—	—
Алайская долина	(5000)	—	—	—	—	—	—
Низовья рек Гунт, Бартаг, Шахдара	(5000)	—	—	—	—	—	—
Ср. течение рек Гунт, Бартаг, Шахдара	—	—	—	—	—	—	—
Верхнее течение рек Гунт, Бартаг, Шахдара	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Два последних района относятся только к территории Западного Памира. В скобках даны величины сомнительные или экстраполированные.

На основе зависимостей сумм жидких и твердых осадков от высоты для бассейна Амударьи построены соответствующие карты. Ю. М. Денисов [2] показал, что при линейном законе возрастания осадков с высотой слой осадков средний по бассейну равен выпадающему на уровне средневзвешенной высоты. Проверка этого положения проведена по данным 31 бассейна с достаточно надежными зависимостями $X=f(H)$ (табл. 2).

Анализ табл. 2 показывает, что несмотря на существенное отличие кривых $X=f(H)$ от прямой линии равенство $\bar{X}=X_{H_{срв}}$ очень хорошо выдерживается для бассейнов, расположенных на периферийных склонах (кривые типа 1). Максимальное отклонение в двух случаях из 25 превосходит 5%. Объясняется это тем, что удельный вес нижних зон, где наблюдается наибольшая кривизна зависимостей $X=f(H)$, невелик и, следовательно, прямолинейная схематизация не является слишком грубой.

Для бассейнов с зависимостями типа 2, в силу большей их кривизны в средней и верхней частях, ошибки больше (7—9%) и всегда отрицательны. Слой осадков, равный среднему по бассейну, выпадает на высоте, превышающей $H_{срв}$. Для бассейна Зарафшана неплохо выполняется соотношение $X=X_{H_{срв}+100\text{ м}}$. Аналогичные результаты получаются и для слоя твердых осадков (табл. 2). Из этих данных вытекает важный для практики вывод относительно размещения осадкомерной сети в горах. Очевидно, что для гидрологических расчетов и прогнозов стока на вегетационный период наибольшую ценность представляют осадкомеры, установленные на уровне $H_{срв}$ соответствующих водосборов периферийных склонов, либо несколько выше в экранированных районах. Это положение необходимо учесть при реорганизации и развитии осадкомерных наблюдений.

Внутригодовое распределение осадков. Для определения закономерностей внутригодового распределения осадков использованы данные равнинных и предгорных станций с периодом наблюдений свыше 20 лет и материалы по горным станциям и постам с продолжительностью наблюдений свыше 10 лет. Внутригодовое распределение осадков по горным станциям с числом лет наблюдений менее 20 уточнено по графикам связи месячных осадков с показаниями опорных метеостанций. Осредненное по высотным зонам внутригодовое распределение осадков в бассейне Амударьи приведено в табл. 3.

В пределах бассейна Амударьи намечается два различных типа внутригодового хода осадков, присущих районам с разными условиями доступности влагонесущим потокам, поступающим на территорию бассейна с юга, юго-запада и запада. Районы, экранированные с юга и юго-запада высокими хребтами или расположенные в глубине горных систем, характеризуются весенне-летним максимумом осадков. Сюда относятся Алайская долина, дно долины Зарафшана (до высот 3000 м), Восточный Памир и небольшая часть Западного (южные склоны Ваханского хр.). По площади распространения и особенно по роли в формировании стока Амударьи и Зарафшана эти районы значительно уступают районам зимне-весеннего максимума осадков, к которым относятся вся равнинная территория и большая часть горной.

У отмеченных типов внутригодового распределения резко различны соотношение зимних и летних осадков и месяц с максимальными осадками. Так, если на высотах порядка 4000 м в зоне весенне-летнего максимума осадки в июне—августе и декабре—феврале составляют 32 и 11,6% годовой суммы, то в зоне зимне-весеннего максимума — 12,0

Сопоставление осадков средних по бассейну ($\bar{X}$) и осадков на уровне $H_{срв}$

Бассейн реки	Пункт	$H_{срв}$, м	$\bar{X}$, мм	$X_{H_{срв}}$, мм	ΔX , мм	δ , %	$\bar{X}_{ТВ}$, мм	$X_{H_{срв}}$, мм	ΔX , мм	δ , %
Танхаз	Каттагон	2170	670	640	30	-4,5	432	420	12	-2,8
Аксу	Хазарнау	2444	739	710	29	-3,9	544	530	14	-2,6
Яккабаг	Татар	2702	639	625	14	-2,2	520	520	0	0
Турнабулак	Ишкент	2397	578	565	13	-2,3	441	420	21	5,0
Калкама	Чамбил	1160	920	920	0	0	310	320	10	3,2
Аякчи	Канжигалы	1330	970	980	10	+1,0	357	370	13	3,7
Гузардаря	Яртепе	1532	428	420	8	-1,9	168	165	3	-1,8
Лянгар	Таль	1556	580	610	30	4,3	239	260	21	8,8
Туполанг	Зарчуб	2546	1100	1100	0	0	814	810	4	-0,5
Ширабад	Ширабад	1495	452	445	7	-1,5	192	160	32	16,6
Ходжаинак	Карлюк	1968	640	660	20	+3,1	390	360	30	7,7
Сангардак	Кынггузар	2286	884	875	9	-1,0	584	570	14	-2,4
Дашнабад	Дашнабад	2141	1133	1190	57	+5,0	754	750	4	-0,5
Акджарсай	Акджар	1840	1145	1090	55	-4,8	527	500	27	5,1
Ширкент	Дебивак	2384	1252	1290	38	+3,0	840	810	30	3,8
Шаргунь	Шаргунь	2263	1106	1040	60	-6,0	740	720	20	2,8
Каратаг	Каратаг	2560	1372	1340	32	-2,3	930	900	30	3,2
Ханака	Алибеги	2288	1252	1280	28	+2,2	760	740	20	2,7
Лючоб	Дюшамбе	2295	1270	1285	15	+1,1	730	750	20	2,7
Варзоб	Доганата	2601	1360	1390	30	+2,2	973	950	23	2,4
Варзоб	Чарвакская	2533	1348	1370	22	+1,6	952	900	52	5,5
Харангон	Харангон	1907	1126	1150	24	+2,1	542	530	12	-2,2
Ягнобдаря	Устье	3280	785	745	40	-5,1	680	635	45	6,2
Искандердаря	У истока	3538	810	765	45	-5,6	710	645	65	9,2
Зарафшан	К. Дехауз	3744	850	775	75	-8,8	785	700	85	10,9
Зарафшан	Ниже к. Дехауз	3466	630	575	55	-8,7	547	495	52	9,5
Варзоболо	Такоб	2424	1280	1320	40	+3,1	816	810	6	-0,7
Такоб	Такобрудстрой	2390	1295	1310	15	+1,2	820	795	25	3,0
Яхсу	Курбастанак	2159	1160	1130	30	-2,6	644	630	14	-2,2
Сарытаг	Устье	3574	838	775	63	-7,5	749	690	59	7,9
Хазырмеч	Летовка	3529	820	760	60	-7,3	720	670	50	7,1

Примечание. $H_{срв}$ —средневзвешенная высота водосбора, $\bar{X}$ —средний слой осадков, $X_{H_{срв}}$ —слой осадков на уровне $H_{срв}$, ΔX —абсолютное отклонение $X_{H_{срв}}$ от $\bar{X}$, δ —то же в процентах. $\bar{X}_{ТВ}$ —средний слой твердых осадков.

Таблица 3

Внутригодовое распределение осадков в бассейне Амударьи, % от годовой суммы

Высотные зоны, м	I			II			III			IV			V			VI		
	ж.	тв.	Σ	ж.	тв.	Σ	ж.	тв.	Σ	ж.	тв.	Σ	ж.	тв.	Σ	ж.	тв.	Σ

Районы весенне-летнего максимума осадков (дно долины Зарафшана, Алайская долина, Восточный Памир)

1000—1500	1,2	5,7	6,9	4,4	9,2	13,6	12,8	5,2	18,0	18,4	0,4	18,8	15,3	—	15,3	3,0	—	3,0
1500—2000	0,3	4,9	5,2	2,7	6,0	8,7	14,9	5,3	20,2	22,0	0,7	22,7	13,6	—	13,6	7,0	—	7,0
2000—2500	—	4,2	4,2	—	5,9	5,9	5,4	10,2	15,6	13,0	3,7	16,7	16,7	1,3	18,0	11,5	—	11,5
2500—3000	—	4,5	4,5	—	6,4	6,4	2,4	11,2	13,6	6,0	8,8	14,4	11,8	6,0	17,8	12,0	0,3	12,3
3000—3500	—	4,7	4,7	—	6,6	6,6	—	8,5	8,5	0,8	9,9	10,7	5,8	11,0	16,8	11,0	2,2	13,2
3500—4000	—	3,7	3,7	—	4,3	4,3	—	10,3	10,3	—	10,0	10,0	—	17,4	17,4	0,7	12,3	13,0

Районы зимне-весеннего максимума осадков (остальная территория бассейна)

300—800	11,6	3,4	15,0	11,6	2,9	14,5	22,3	0,7	23,0	15,0	0,2	15,2	8,5	—	8,5	0,7	—	0,7
800—1500	4,2	6,8	11,3	7,6	5,3	12,9	17,0	4,0	21,0	18,8	0,4	19,2	9,7	—	9,7	4,6	—	4,6
1500—2000	0,7	10,2	10,9	2,4	10,0	12,4	7,8	11,4	19,2	16,2	3,0	19,2	12,0	—	12,0	3,6	—	3,6
2000—2500	—	9,1	9,1	0,1	11,2	11,3	4,1	15,2	19,3	13,0	6,6	19,6	13,1	0,8	13,9	3,2	—	3,2
3000—3500	—	9,9	9,9	—	11,0	11,0	—	15,9	15,9	0,3	16,1	16,4	2,0	11,5	13,5	5,0	1,0	6,0
4000	—	9,0	9,0	—	10,3	10,3	—	13,2	13,2	—	11,1	11,1	—	9,5	9,5	—	6,5	6,5

Высотные зоны, м	VII			VIII			IX			X			XI			XII			XII II VI-VII	
	ж.	тв.	Σ	ж.	тв.	Σ	ж.	тв.	Σ	ж.	тв.	Σ	ж.	тв.	Σ	ж.	тв.	Σ	Σ	Σ

Районы весенне-летнего максимума осадков (дно долины Зарафшана, Алайская долина, Восточный Памир)

1000—1500	1,3	—	1,3	0,6	—	0,6	0,3	—	0,3	4,4	—	4,4	4,7	5,4	10,1	3,7	3,8	7,5	28,0	4,9
1500—2000	4,2	—	4,2	2,4	—	2,4	1,0	—	1,0	3,8	—	3,8	4,4	2,4	6,8	1,0	3,6	4,6	18,5	13,6
2000—2500	7,5	—	7,5	4,1	—	4,1	1,9	—	1,9	3,6	1,0	4,6	1,0	3,8	4,8	—	5,1	5,1	15,2	23,1
2500—3000	9,0	—	9,0	5,1	—	5,1	2,2	—	2,2	2,3	2,4	4,7	0,2	4,8	5,0	—	5,1	15,0	15,9	26,4
3000—3500	10,2	—	10,2	6,1	—	6,1	2,5	1,4	3,9	0,6	4,1	4,7	—	8,2	8,2	—	6,4	6,4	17,7	29,5
3500—4000	6,3	2,4	8,7	5,7	4,7	10,4	0,3	7,1	7,4	—	7,9	7,9	—	3,3	3,3	—	3,6	3,6	11,6	32,1

Районы зимне-весеннего максимума осадков (остальная территория бассейна)

300—800	0,3	—	0,3	0,2	—	0,2	0,1	—	0,1	1,4	—	1,4	6,4	2,0	8,4	10,0	2,8	12,8	42,3	1,0
800—1500	0,4	—	0,4	0,4	—	0,4	0,1	—	0,1	3,0	—	3,0	6,8	2,7	9,5	5,4	5,5	10,9	35,1	2,4
1500—2000	1,0	—	1,0	0,9	—	0,9	0,3	—	0,3	3,5	—	3,5	3,2	5,0	8,2	1,5	7,3	8,8	32,1	5,5
2000—2500	1,6	—	1,6	0,7	—	0,7	0,4	—	0,4	1,6	1,5	3,1	0,8	7,8	8,6	—	9,2	9,2	29,6	5,9
3000—3500	2,7	—	2,7	3,0	—	3,0	0,9	0,6	1,5	0,4	3,6	4,0	—	6,2	6,2	—	9,9	9,6	30,5	11,7
4000	0,2	3,4	3,6	0,5	1,4	1,9	—	2,1	2,1	—	7,9	7,9	—	13,0	13,0	—	12,0	12,0	31,3	12,0

и 31,3%; месяц максимума осадков — май в первой зоне и март—апрель во второй.

Отмечаемое многими исследователями сглаживание внутригодового хода осадков с увеличением высоты местности четко прослеживается на территории обеих зон. Так, если на равнине разность между месяцами с максимальным и минимальным количеством осадков (март—сентябрь) составляет 23% годовой суммы, то на метеостанции ледник Федченко она снижается до 11%; для районов весенне-летнего максимума осадков эти цифры составляют 22 и 14%.

Для уяснения закономерностей распределения по высотным зонам сезонных осадков построены зависимости месячных сумм жидких, твердых и суммарных осадков от высоты местности для южного склона Гиссарского хр. Анализ этих зависимостей и табл. 3 опровергает мнение некоторых исследователей [3] о смещении зоны максимальных осадков с 1500 м зимой до 3000 м летом. Во все времена года максимальное увлажнение наблюдается в верхних зонах гор, на высотах выше 3000 м, однако градиенты возрастания осадков существенно меняются по сезонам. В нижних зонах (800—1500 м) наибольшие градиенты наблюдаются в январе—апреле, когда уровень конденсации занимает самое низкое высотное положение и наиболее высока относительная влажность воздуха. На больших высотах градиенты резко снижаются, но тем не менее остаются положительными. Зависимости же летних и осенних осадков от высоты близки к прямолинейным.

Распределение месячных сумм жидких осадков по высотным зонам наглядно иллюстрирует сезонную миграцию зоны «максимальной дожливости». Так, если в феврале максимум жидких осадков наблюдается на высоте 1000 м, то в марте он смещается на высоту 1400 м, в апреле — на 1800, в мае — на 2200, в июле — на 3400. Осенью зона «максимальной дожливости» последовательно опускается с 1800 м в сентябре до 1400 м в ноябре и до 1200 м в декабре.

Месячные суммы твердых осадков непрерывно возрастают с высотой. Зависимости их от высоты в период октябрь—март близки к прямолинейным, зависимости апреля—июня характеризуются возрастанием градиентов с увеличением высоты. Наибольшие градиенты приурочены к апрелю—маю (20—25 мм на 100 м подъема). Наибольшее накопление твердых осадков происходит (на высотах >1500 м) в марте, однако интересно отметить, что в зоне 3000—3500 м в апреле—июне выпадает 35—40% суммы твердых осадков периода октябрь—март, принятого основным в гидрологических прогнозах.

В районах весенне-летнего максимума осадков в интервале высот 3000—3500 м за этот же период выпадает 60% суммы твердых осадков за период X—III, а на высотах 3500—4000 м — 120%. Зона «максимальной дожливости» для этих районов последовательно поднимается с 2000 м в апреле, до 2500 в мае, 2500—3500 в июне, 3000—3500 в июле и 3500—4000 в августе. В заключение заметим, что данные табл. 3 отражают лишь общие черты внутригодового распределения осадков в бассейне Амударьи, оставляя в стороне некоторые местные особенности.

Расчет годовых сумм осадков заданной обеспеченности. Изменчивость годовых сумм осадков, определяющая степень колебаний осадков отдельных лет относительно среднего, является необходимым дополнением к норме осадков. Практическое применение осадки заданной обеспеченности находят в различного рода гидрологических и климатических исследованиях и расчетах.

Методика расчета осадков заданной обеспеченности явилась предметом исследования ряда авторов [8, 10]; часть из них идет по пути чисто эмпирического подсчета повторяемостей годовых осадков, другие используют для расчетов асимметричную кривую Пирсона типа 3 (при различных соотношениях C_s и C_v), либо асимметричные кривые иных типов. Использование асимметричных кривых практически неоправданно вследствие слабой асимметричности распределения годовых сумм осадков. Так, К. Брукс и Н. Карузерс [1], считая распределение осадков в общем как положительно асимметричное, отмечают большую близость эмпирических распределений годовых сумм осадков к нормальному.

В статистической практике при решении вопроса о виде кривой распределения выборочных данных наибольшее распространение в настоящее время получил критерий χ^2 [7]. Рассматриваемая гипотеза принимается, если полученное по выборочным данным значение χ^2 оказывается меньше некоторого теоретического его значения, и бракуется в противном случае. Нами исследована возможность применения наиболее простого и хорошо изученного нормального распределения случайных величин к сглаживанию эмпирических распределений годовых сумм осадков. Проверка данной гипотезы проводилась по материалам метеостанций бассейна Амударьи и других районов, с периодом наблюдений 48 лет и более. Результаты проверки поставленной гипотезы на 5%-ном уровне значимости (принятом в статистике при решении такого рода задач) приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты проверки гипотезы нормальности распределения годовых сумм осадков

Станция	Период наблюдений, лет	Твердые осадки		Жидкие осадки		Годовые	
		$\chi^2_{\text{э}}$	$\chi^2_{5\%}$	$\chi^2_{\text{э}}$	$\chi^2_{5\%}$	$\chi^2_{\text{э}}$	$\chi^2_{5\%}$
Ташкентская обсерватория	74	4,7	7,8	2,3	7,8	2,9	7,8
Самарканд	48	3,5	6,0	1,3	6,0	2,8	6,0
Термез	53	5,2	6,0	1,6	6,0	2,0	6,0
Джизак	75	3,5	6,0	3,2	7,8	3,3	7,8
Хорог	49	2,5	3,8	2,2	3,8	2,4	3,8
Джамбул	78	3,4	6,0	2,4	6,0	2,9	6,0

Примечание. χ^2 — эмпирическое значение критерия, $\chi^2_{5\%}$ — теоретическое значение критерия.

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что нормальный закон хорошо описывает распределение годового слоя жидких, твердых и суммарных осадков шести метеостанций, расположенных в зоне зимне-весеннего максимума осадков в равнинной, предгорной и горной частях территории. Ни в одном случае поставленная гипотеза не бракуется, поэтому отпадает необходимость подбора более сложных типов кривых распределения.

Наибольшая близость $\chi^2_{\text{э}}$ и $\chi^2_{5\%}$ отмечается для годовых сумм твердых осадков, не превышающих для рассматриваемых станций 130 мм. По-видимому, при малом числе суммируемых элементов (снегопадов или дождей) распределения сумм осадков уже существенно

отклоняются от нормального¹. Известно, что нормальное распределение определяется двумя параметрами: $\bar{X}$ (среднее) и D_X (дисперсия). Закономерности распределения по территории и расчетные зависимости для $\bar{X}$ приведены выше.

Для изучения закономерностей распределения второго параметра D_X или, что удобнее, $C_v = \frac{\sqrt{D_X}}{\bar{X}}$ по 50 станциям с периодом наблю-

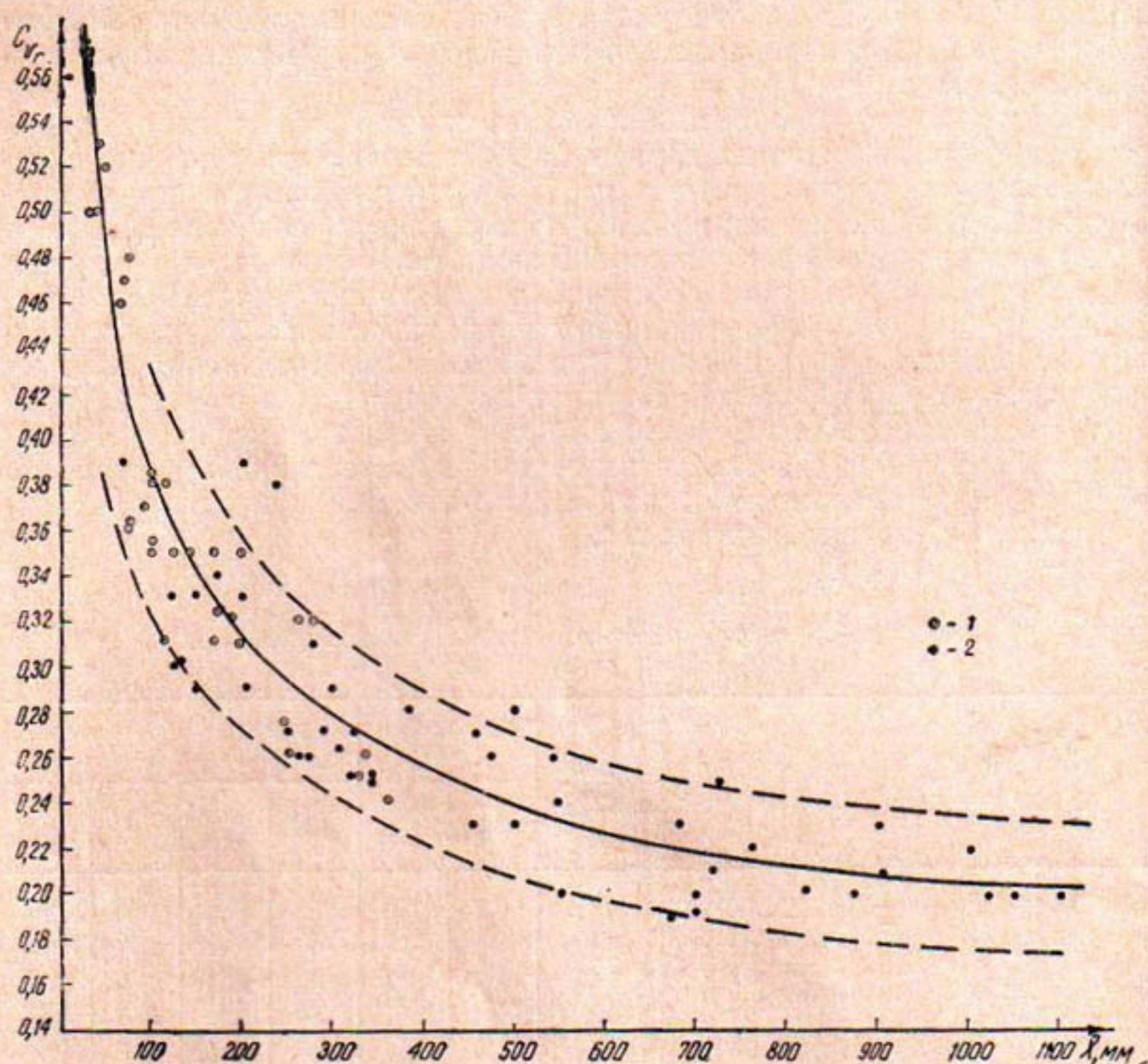


Рис. 6. Зависимость коэффициента вариации годовых сумм осадков от нормы осадков:

1 — коэффициент вариации сумм твердых осадков, 2 — коэффициент вариации годовых осадков.

дений 20 лет и более рассчитаны коэффициенты вариации жидких, твердых и суммарных годовых осадков. Средняя ошибка подсчета C_v составляет 15%. Закономерности изменения C_v с высотой нечеткие. Можно лишь говорить о тенденции к уменьшению C_v годовых осадков с увеличением высоты и параллельному увеличению C_v сумм жидких осадков. Убывание C_v годовых сумм твердых осадков с высотой более четкое; для экранированных районов обнаруживается отдельная зависимость.

¹ Нормальность распределения годовых сумм осадков подтверждается также (на 5%-ном уровне значимости) с помощью критерия соответствия ω^2 , обладающего рядом преимуществ перед критерием χ^2 .

Причина значительного рассеивания точек на зависимостях $C_v = f(H)$, как выяснилось, заключается в том, что основным фактором, определяющим изменчивость осадков, является их норма. Совершенно идентичные зависимости $C_v = f(\bar{X})$ образуют коэффициенты вариации жидких, твердых и годовых осадков. Рассеивание точек для этих зависимостей значительно меньше, чем для $C_v = f(H)$, кривые для открытых и экранированных районов сильно сближаются. Следует отметить, что рассеивание точек на зависимостях $C_{vX_{TB}} = f(\bar{X}_{TB})$ и $C_{vX_{ж}} = f(\bar{X}_{ж})$

несколько больше, чем для аналогичной зависимости для годовых осадков, что связано с известной условностью разделения смешанных осадков каждого года на жидкие и твердые. На рис. 6 представлена зависимость $C_v = f(\bar{X})$; для уточнения кривой в области малых значений $\bar{X}$ использовано несколько коэффициентов вариации твердых осадков. Эмпирические точки лишь в трех случаях уклоняются за пределы 15% границ случайного рассеивания (метеостанции Хорог, Рушан и Калайхумб, расположенные в частично экранированных долинах Западного Памира).

Нужно отметить также, что к верхней границе случайного рассеивания тяготеют точки и других частично экранированных районов. Возможно, что для этих районов, в зависимости от преобладающего направления влагонесущих потоков каждого года, влияние экрана сказывается то в слабой, то в очень сильной степени, что ведет к повышенной вариации годовых осадков. Однако выделить отдельную кривую для этих районов затруднительно вследствие малого числа станций и значительных ошибок в подсчете C_v .

Зависимость, представленная на рис. 6, в логарифмических координатах спрямляется и хорошо аппроксимируется следующим выражением:

$$C_{vX} = \frac{1,20}{\bar{X}^{0,25}}, \quad (1)$$

которое может быть использовано для определения коэффициентов вариации жидких, твердых и годовых сумм осадков для пунктов с короткими рядами наблюдений либо с отсутствием их¹.

На основе полученной зависимости можно составить карту территориального изменения C_v , однако практической необходимости в этом нет, так как подобная карта полностью повторяла бы карту осадков. Для облегчения практических расчетов с помощью таблиц функции

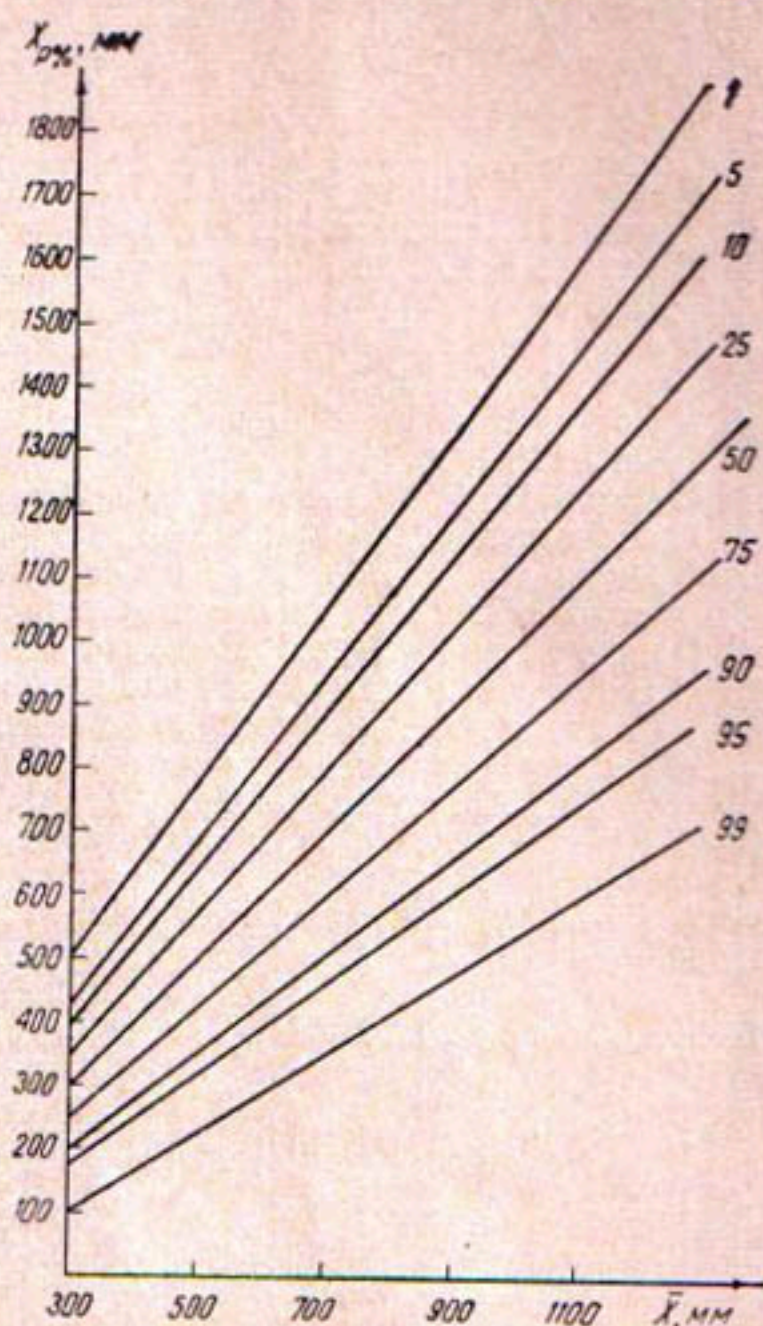


Рис. 7. График для расчета годовых сумм осадков заданной обеспеченности.

¹ Средняя ошибка определения C_v по формуле (1) составляет 8%.

Лапласа и зависимости (1) составлен расчетный график для определения годового слоя жидких, твердых и суммарных осадков 1, 5, 10, 25, 75, 90, 95 и 99%-ной обеспеченности (рис. 7).

Нормальное распределение, очевидно, пригодно также для расчетов слоя осадков заданной обеспеченности на данную площадь, если выяснен конкретный вид обратной зависимости C_{v_x} от размеров площади. Для ЕТС подобная зависимость получена Н. П. Чеботаревым [13], давшим теоретическое обоснование уменьшения изменчивости осадков с увеличением площади.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брукс К., Каррузерс Н. Применение статистических методов в метеорологии, Л., Гидрометеоиздат, 1963.
 2. Денисов Ю. М. Схема расчета гидрографа горных рек, Л., Гидрометеоиздат, 1965.
 3. Джорджио З. В. Опыт долгосрочных прогнозов стока рек Средней Азии, Ташкент, изд. САГУ, 1957.
 4. Дроздов О. А. Средние месячные и годовые количества осадков в СССР, Вестник ЛГУ, 1948, № 7.
 5. Ильин И. А. Водные ресурсы Ферганской долины, Л., Гидрометеоиздат, 1959.
 6. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды, Л., 1955.
 7. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Краткий курс математической статистики для технических приложений, М., Изд-во «Наука», 1965.
 8. Сущевский В. Н., Юсупова Т. Ю. Расчет годовых сумм осадков и построение их для территории Таджикистана, АН ТаджССР, т. VII, 1964.
 9. Трестман А. Г. О гидрологическом районировании и характере распределения годового стока рек по территории Таджикистана, Изв. Отд. геол.-хим. и техн. наук АН ТаджССР, вып. 1, 1959.
 10. Шебеко В. Ф. Обеспеченность осадков на территории Белорусской ССР, Минск, 1964.
 11. Шульц В. Л. Реки Средней Азии, Л., Гидрометеоиздат, 1965.
 12. Шульц В. Л., Шалатова Л. И. Средний сток, В сб. «Сурхандарьинская область. Природа», Тр. САГУ, вып. 185, 1961.
 13. Чеботарев Н. П. Учение о стоке, М., Изд. МГУ, 1962.
-

Б. Е. МИЛЬКИС, Г. А. АХМЕДОВ

ВЕЛИЧИНА СУММАРНОГО ИСПАРЕНИЯ С ХЛОПКОВОГО ПОЛЯ НА ЗЕМЛЯХ НОВОГО ОСВОЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ФЕРГАНЫ

При планировании водохозяйственных мероприятий, включающих орошение и обводнение больших земельных массивов, необходимо правильно учитывать все изменения, происшедшие в водном балансе территории. При этом большое практическое значение имеет расчет одного из основных элементов водного баланса — испарения.

В течение мая—октября 1964 г. отдел гидрологии и водного баланса САНИИРИ провел специальные исследования испарения на опытном участке закрытого дренажа, расположенном в Центральной Фергане на землях нового освоения колхозов «Большевик» и «Совет» Ахунбабаевского района.

Здесь мы кратко излагаем результаты наблюдений, проведенных на хлопковом поле.

Опытный участок закрытого горизонтального дренажа площадью в 350 га со всех сторон ограничен открытыми коллекторами. Грунтовые воды на участке залегают на глубине от 0,5—1,0 до 2,0—2,5 м. Они сильно минерализованы, имеют плотный остаток от 2 до 10 г/л. Строение верхней пятиметровой толщи грунтов опытного участка очень пестрое: супеси и суглинки, прослойки и линзы песков и глин, зерна гравия и гипса.

Объемный вес грунтов (до глубины 3,0 м) изменяется в пределах от 1,20—1,30 до 1,60—1,70 г/см³. Максимальная молекулярная влагоемкость комплекса грунтов колеблется от 12 до 25%¹.

Рассматриваемый район — предгорный. Климат здесь резко континентальный. С апреля по октябрь средняя многолетняя температура воздуха в районе выше 10°. Самый теплый месяц — июль имеет среднюю температуру около 27°. Абсолютная влажность в течение почти всего года выше 5 мб, а с апреля по сентябрь выше 10.

Ветровой режим рассматриваемого района обусловлен характером циркуляции атмосферы над всей Средней Азией и особенностями расположения горных хребтов, окаймляющих Ферганскую долину. В районе Коканда в зимние месяцы преобладают северо-восточные, восточные и юго-западные ветры, в теплый период — юго-западные и западные. В районе ст. Федченко и Ферганы почти весь год господствует юго-восточный ветер.

Годовой ход среднемесячных скоростей ветра в рассматриваемом районе очень сглажен, скорости колеблются в пределах 1—2 м/сек.

¹ В течение нескольких лет на опытном участке проводит исследовательские работы комплексная экспедиция отделов орошения и мелиорации САНИИРИ.

Только у входа в Ферганскую долину колебания более значительны: от 6—7 м/сек зимой до 2—3 летом.

Район характерен годовым ходом осадков с двумя максимумами — весной и осенью, в летние месяцы здесь выпадает незначительное количество осадков. Наибольшее увлажнение — в районе ст. Федченко, где в отдельные годы количество осадков составляет 362 мм, наименьшее — в районе Коканда (100 мм).

В задачу полевых исследований входили наблюдения за составляющими радиационного баланса, распределением температуры и влажности воздуха и их градиентами в приземном слое атмосферы, изменением скорости ветра над деятельной поверхностью, распределением температуры и влажности почвы, изменением испарения с поверхности почвы под растительным покровом (с помощью малых почвенных испарителей).

Поток прямой солнечной радиации измеряли с помощью термоэлектрического актинометра, суммарную, рассеянную и отраженную радиации — пиранометром и альбедометром, а радиационный баланс — с помощью термоэлектрического балансомера.

Наблюдения по приборам проводились в виде суточных и дневных серий через каждые три часа. Температуру и влажность воздуха измеряли на высотах 0,1; 10; 20; 50; 100; 200 и 300 см от поверхности почвы аспирационными психрометрами большой модели, скорость ветра на высотах 20, 100, 200 и 300 см — ручными анемометрами, температуру почвы — срочными термометрами на поверхности почвы и термометрами Савинова на глубинах 5, 10, 15 и 20 см в двух повторностях. Испарение с поверхности почвы под растительным покровом определяли испарителями малой модели в четырех повторностях. Днем, перед каждой очередной серией наблюдений, в испарителях устанавливали свежие монолиты, которые экспонировались в течение часа. В ночные часы монолиты в испарителях не заменяли. Взвешивали их на технических весах с точностью до 0,01 г.

Для определения суммарного испарения с хлопкового поля был применен метод теплового баланса, основанный на уравнении теплового баланса деятельной поверхности:

$$R = P + B + V, \quad (1)$$

где R — радиационный баланс, P — теплообмен подстилающей поверхности с атмосферой, B — теплообмен в почве и V — затраты тепла на суммарное испарение.

Испарение определяли по формуле

$$E = \frac{P - B}{1 + b \frac{\Delta t}{\Delta e}}, \quad (2)$$

Радиационный баланс и градиенты температуры и влажности воздуха измеряли приборами, тепловой поток в почву рассчитывали по распределению температуры почвы в слое 0—20 см по формуле Г. Х. Цейтина:

$$B = \frac{c_p}{\tau} \left[A(t) - \frac{K}{10} D(t) \right], \quad (3)$$

где c_p — объемная теплоемкость почвы, τ — промежуток времени между наблюдениями, K — коэффициент температуропроводности почвы, $A(t)$ — величина, характеризующая распределение температуры почвы

по глубине за время между наблюдениями, $D(t)$ — величина, характеризующая изменение температуры во времени на глубинах 10 и 20 см.

Полевые исследования суммарного испарения с хлопкового поля проводились в течение мая—октября.

На опытном поле находился среднеспелый хлопчатник сорта 108ф первого года посева. Урожай хлопка-сырца на участке составил 17 ц/га.

При анализе полученных материалов были выделены следующие пять периодов развития хлопчатника: отрастания (19/V—11/VI), бутонизации (12/VI—10/VII), цветения (11/VII—5/IX), созревания (6/IX—21/IX) и период после дефолиации (22/IX—23/X).

Рассмотрим суточные изменения составляющих теплового баланса хлопкового поля в среднем за период вегетации. На графиках (рис. 1) показан суточный ход прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность (S'), радиационного баланса деятельной поверхности (R), теплообмена подстилающей поверхности с атмосферой (P), теплообмена в почве (B) и затрат тепла на суммарное испарение (V). Максимум радиационного баланса наступает в полдень, минимум — после захода солнца. Днем радиационный баланс быстро изменяется от часа к часу, ночью — очень мало. Наибольшие полуденные значения радиационного баланса ($0,9 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$) отмечены в период цветения.

Суточный ход турбулентного теплообмена за период вегетации хлопчатника очень изменчив. Во время отрастания турбулентный поток тепла в течение суток дважды меняет направление: днем он направлен от деятельной поверхности, ночью — в обратную сторону. В период бутонизации тепловой поток направлен к деятельной поверхности только во вторую половину ночи и в дополуденные часы, во время цветения, созревания и после дефолиации — круглосуточно.

Наибольшие дневные значения потока тепла в почву отмечены около 10 час. утра в период бутонизации и цветения и равны $0,30 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$ (ночью — не более $0,15 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$). Максимум затрат тепла на суммарное испарение наблюдается между 12 и 14 час. и колеблется в пределах $0,56—0,78 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$. Первая величина относится к периоду после дефолиации, вторая — к периоду цветения.

В суточном ходе составляющих теплового баланса эффект полива проявляется различно на разных стадиях развития растений (рис. 2).

В первых фазах, когда растения еще невысоки и не сомкнуты, орошение поля вызывает заметные изменения радиационного баланса, например, 22—23/VI и 1—2/VII, когда радиационный баланс хлопкового поля (период бутонизации) в дневные часы до и после полива показывал разницу до 20%. К концу периода цветения растения сомкнуты, сильнее затеняют почву и эффект полива проявляется значительно слабее. Так, 23—24/VIII и 4—5/IX радиационный баланс до и после полива отличался всего на 2—7%. На рис. 3 приведены соотношения суточных сумм составляющих теплового баланса до и после полива. Диаграмма наглядно показывает влияние орошения на изменение затрат тепла на суммарное испарение. Как видим, после полива дополнительным источником энергии в процессе испарения служит теплообмен с атмосферой.

В период бутонизации до полива (22—23/VI) с хлопкового поля за сутки испарилось 4,5 мм воды, а после полива (1—2/VII) — 7,6 мм, т. е. разница составила почти 3,0 мм, в конце периода цветения суточная величина испарения до и после полива (6,5 и 8,0 мм) отличается всего на 1,5 мм.

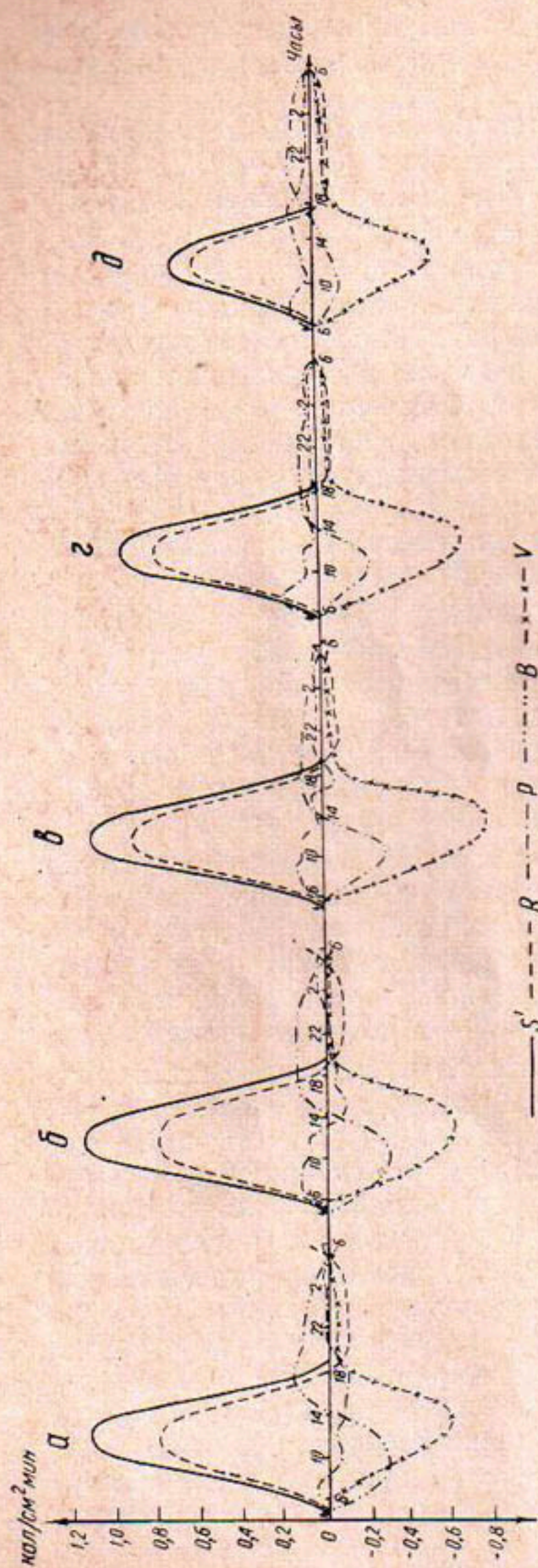


Рис. 1. Суточный ход составляющих теплового баланса хлопкового поля в среднем по периодам:
а — отрастания, б — бутонизации, в — цветения, г — созревания, г — после дефолиации.

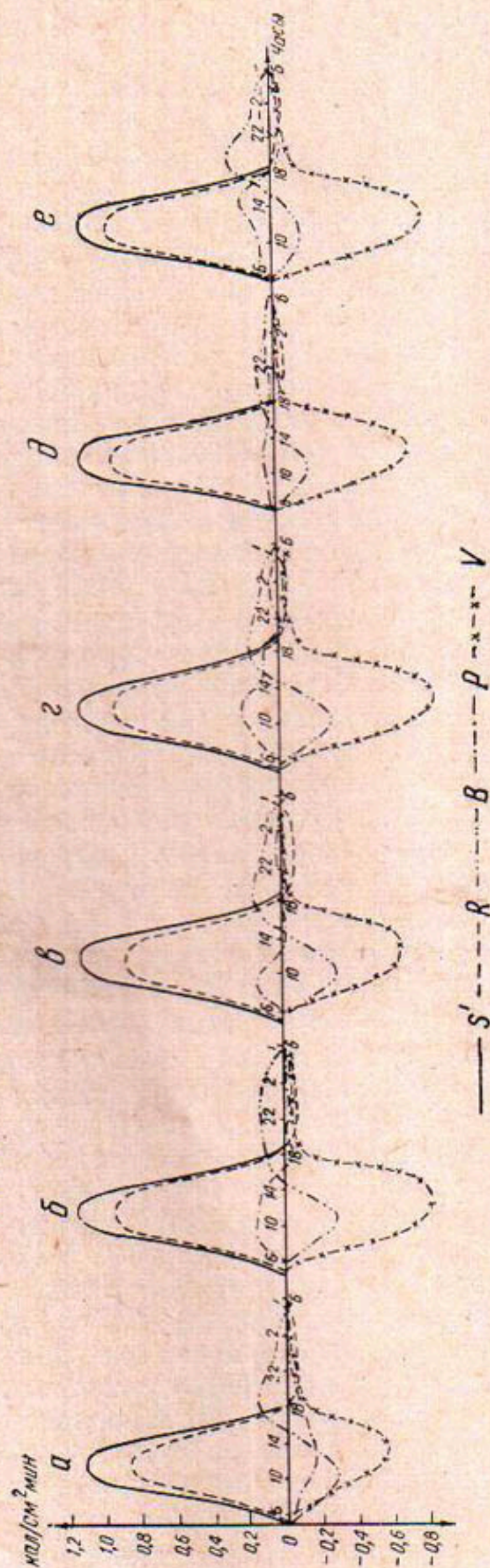


Рис. 2. Суточный ход составляющих теплового баланса хлопкового поля:
а — 22—23/VI до полива, б — 1—2/VII после полива, в — 17—18/VII после полива, г — 30—31/VII после полива, г — 23—24/VIII до полива, е — 4—5/IX после полива.

Рассмотрим изменение дневных и суточных сумм составляющих теплового баланса отдельно по периодам (табл. 1). Согласно приведенным таблицам дневные суммы радиационного баланса постепенно возрастают и достигают своих максимальных значений (403 кал/см^2) в период цветения, а затем постепенно уменьшаются до минимума (206 кал/см^2) в период после дефолиации. По отношению к прямой солнечной радиации дневные суммы радиационного баланса за период наблюдения составляют 69—79% (табл. 2).

В начале вегетации турбулентный поток тепла направлен от деятельной поверхности в атмосферу. Дневные суммы в этот период достигают 30 кал/см^2 , что составляет 6% по отношению к прямой солнечной радиации и 8% по отношению к радиационному балансу. По мере развития хлопчатника температура воздуха в среде растений становится ниже, чем над хлопчатником, благодаря большим затратам радиационного тепла на суммарное испарение с хлопкового поля. Дневные суммы тепла, затрачиваемые на суммарное испарение и поток тепла в почву, превышают поступающее радиационное тепло; недостаток его компенсируется за счет потока тепла из вышележащих слоев воздуха, имеющих более высокую температуру, т. е. турбулентный поток тепла в этот период направлен к деятельной поверхности.

Наибольшие отрицательные значения дневных сумм (52 и 60 кал/см^2) наблюдаются в периоды созревания и после дефолиации и составляют 13 и 22% по отношению к прямой солнечной радиации и 17 и 29% по отношению к радиационному балансу.

Наибольшая дневная сумма потока тепла в почву (87 кал/см^2) наблюдалась в период бутонизации. Она составляет 16% от прямой солнечной радиации и 23% от радиационного баланса. В последующие периоды поток тепла в почву уменьшился, что связано с уменьшением градиентов температуры почвы вследствие значительного затенения ее поверхности. Если, например, в период бутонизации в полдень разность температур почвы на поверхности и на глубине 5 и 20 см составляла $17,9$ и $27,1^\circ$, то в период созревания — $7,0$ и $9,2^\circ$.

Затраты тепла на суммарное испарение с хлопкового поля за период вегетации изменяются в больших пределах: в период отрастания дневные суммы тепла составляют около 50% от прямой солнечной радиации и 70% от радиационного баланса, в период цветения и созревания, при наиболее интенсивном увлажнении поля, на суммарное испарение расходуется за день соответственно 368 и 312 кал/см^2 , т. е. 90—100% радиационного баланса.

В период после дефолиации расход тепла на испарение умень-

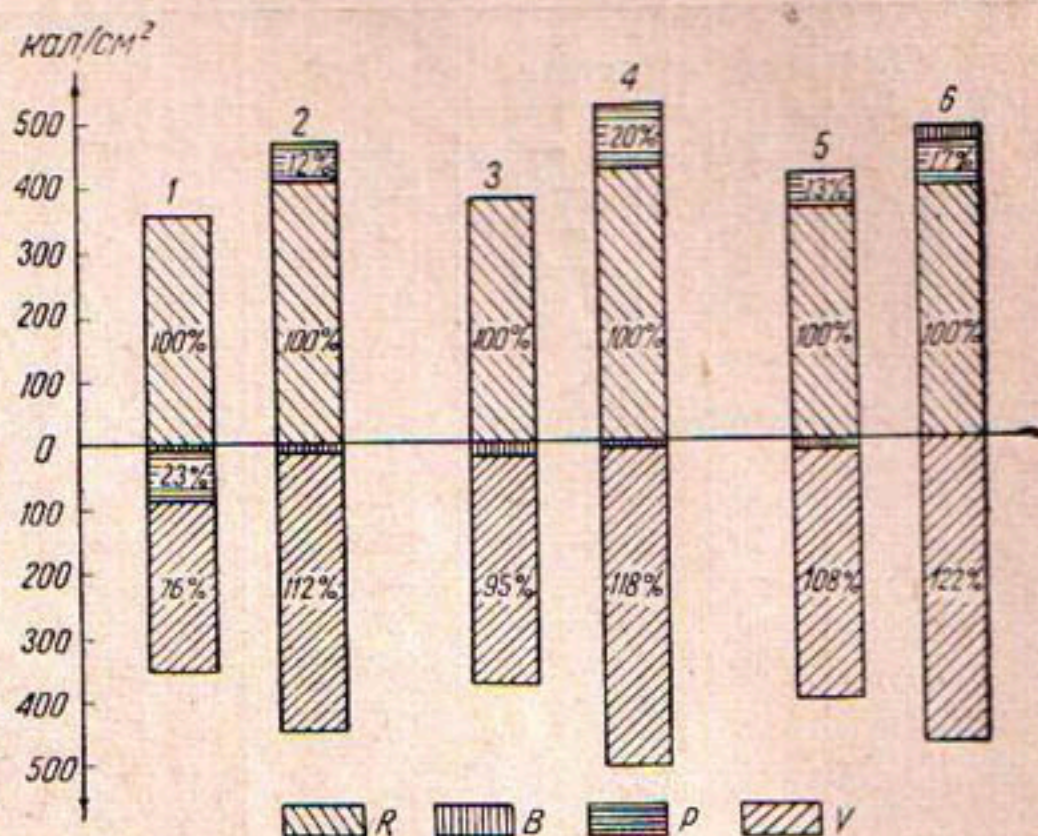


Рис. 3. Диаграмма соотношений составляющих теплового баланса хлопкового поля до и после полива: 1—22—23/VI до полива, 2—1—2/VII после полива, 3—17—18/VII до полива, 4—30—31/VII после полива, 5—23—24/VIII до полива, 6—4—5/IX после полива.

Таблица 1

Суммы составляющих теплового баланса хлопкового поля (среднее),
кал/см².

Элементы	За день	За ночь	За сутки	Элементы	За день	За ночь	За сутки
Период отрастания				Период созревания			
S'	521	—	—	S'	399	—	—
R	364	—44	320	R	309	—39	270
P	30	— 2	28	P	—52	—24	—76
B	80	—62	18	B	49	—38	11
V	254	20	274	V	321	23	335
Период бутонизации				Период после дефолиации			
S'	558	—	—	S'	268	—	—
R	383	—44	339	R	206	—50	156
P	—14	5	—9	P	—60	—20	—80
B	87	—66	21	B	37	—59	—22
V	310	17	327	V	229	29	258
Период цветения				Период наблюдений			
S'	511	—	—	S'	453	—	—
R	403	—36	367	R	332	—43	289
P	—34	—17	—51	P	—26	—11	—37
B	69	—44	25	B	64	—55	9
V	368	25	393	V	294	23	317

Таблица 2

Отношение дневных сумм составляющих теплового баланса к прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность и к радиационному балансу в среднем по периодам

Элементы	Период					Среднее за период наблюдений
	отрастания	бутонизации	цветения	созревания	после дефолиации	
S'	521	558	511	399	268	453
R	364	383	403	309	206	332
R/S'	70	69	79	77	77	73
P	30	—14	—34	—52	—60	—26
P/S'	6	—3	—7	—13	—22	—6
P/R	8	—4	—8	—17	—29	—8
B	80	87	69	49	37	64
B/S'	15	16	14	12	14	14
B/R	22	23	17	16	18	19
V	254	310	368	312	229	294
V/S'	49	56	72	78	85	65
V/R	40	81	91	101	111	89

шается, но доля его в общем приходе-расходе тепла остается значительной. Так, на суммарное испарение в этот период расходуется в среднем за день 229 кал/см², или 85 и 111% прямой солнечной радиации и радиационного баланса.

В табл. 3 приведены суммарные величины составляющих теплового баланса хлопкового поля за день, ночь и сутки за период с 19/V

по 23/X. Если от затрат тепла на испарение перейти к количеству испарившейся воды, то за рассматриваемый период с хлопкового поля испарилось $7740 \text{ м}^3/\text{га}$ днем и $630 \text{ м}^3/\text{га}$ ночью, всего $8370 \text{ м}^3/\text{га}$.

Распределение полученных величин испарения по фазам развития растений показано в табл. 4. Здесь же даны и величины транспирации (V_T) и испарения с поверхности почвы ($V_{\text{п}}$) на хлопковом поле в различные периоды вегетации. Как видим, по мере развития растений, главным образом в связи с возрастанием степени облиствления (испаряющей поверхности растений), транспирация хлопчатника возрастает, достигая наибольшей величины в период цветения, когда она составляет почти 80% от суммарного испарения.

Таблица 3

Суммарные величины составляющих теплового баланса хлопкового поля,
ккал/га

Элементы	За день	За ночь	За сутки
Радиационный баланс	$525 \cdot 10^7$	$-68 \cdot 10^7$	$457 \cdot 10^7$
Турбулентный теплообмен	$-42 \cdot 10^7$	$-17 \cdot 10^7$	$-59 \cdot 10^7$
Поток тепла в почву	$101 \cdot 10^7$	$-87 \cdot 10^7$	$14 \cdot 10^7$
Затраты тепла на испарение	$466 \cdot 10^7$	$36 \cdot 10^7$	$502 \cdot 10^7$

Таблица 4

Величины суммарного испарения, транспирации и испарения с поверхности почвы
на хлопковом поле по фазам развития растений

Элементы	Период					За период наблюдений
	отраста- ния	бутониза- ции	цветения	созрева- ния	после дефолиации	
V	65 760 110	94 830 150	213 600 356	53 600 86	81 000 135	502 200 837
V_T	49 680 83	62 060 98	169 800 283	32 600 54	53 400 89	364 200 607
$V_{\text{п}}$	16 080 27	32 770 52	43 800 73	21 000 32	27 600 46	138 000 230

Примечание. Первая строка данных — ккал/см², вторая — мм.

В связи с возрастанием затенения поверхности почвы по мере развития растений нагревание ее от прямой солнечной радиации уменьшается и в период цветения величина испарения с поверхности почвы достигает минимума (20%) по отношению к суммарному испарению.

Следует отметить, что на сезонный ход испарения с поверхности почвы, кроме затенения, оказывают влияние также сроки полива и то обстоятельство, что при развитом хлопчатнике в среде растений наблюдается высокая влажность воздуха.

Аналогичное распределение суммарного испарения по фазам развития растений, но с выделением дневных и ночных величин, приведено в табл. 5.

Согласно табл. 5 в ночные часы испаряется только 6—10% суммарного испарения.

Мы рассмотрели режим суммарного испарения с хлопкового поля за период с 19 мая по 23 октября, т. е. за 158 дней. Фактически вегетационный период хлопчатника имеет несколько большую продолжительность. Нашими наблюдениями не охвачен период всходов и небольшой отрезок времени перед первым сильным осенним заморозком, т. е. примерно 20—25 дней. За счет этого периода величина суммарного испарения немного возрастет.

В табл. 6 приведены месячные суммы испарения с хлопкового поля. Испарение в начале мая и в конце октября восстановлено по линейной экстраполяции.

Таблица 5

Величины суммарного испарения с хлопкового поля за день, ночь и сутки по фазам развития растений, мм

Время	Период					За период наблюдений
	отрастания	бутоннизации	цветения	созревания	после дефолиации	
День	103	139	333	80	119	774
Ночь	7	11	23	6	16	63
Сутки	110	150	356	86	135	837

Таблица 6

Месячные суммы испарения с хлопкового поля, мм

Элементы	V	VI	VII	VIII	IX	X	V—X
V	80	149	183	194	155	130	891
V _т	45	103	138	154	104	85	629
V _п	35	46	45	40	51	45	262
V _{день}	71	138	171	182	143	114	819
V _{ночь}	9	11	12	12	12	16	72

Итак, за вегетационный период с хлопкового поля испарилось 891 мм воды. Как показали замеры в голове оросителя, опытный участок за это время получил 650 мм воды. Кроме того, при подпитывающем поливе на поле было подано дополнительно около 60 мм воды. Таким образом, опытный участок получил за сезон 710 мм оросительной воды и 37 мм в виде осадков. Следовательно, более 140 мм хлопчатник дополнительно получил за счет грунтовых вод и запасов влаги в почве после зимних промывных поливов и весенних осадков.

А. П. ОРЛОВА, О. С. ДУНИН-БАРКОВСКАЯ, Э. В. ШАРЕР

К ВОПРОСУ О ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОДРУСЛОВОГО ПОТОКА В БАССЕЙНЕ АХАНГАРАНА

В бассейне Ахангарана сосредоточены многие крупные предприятия Узбекистана. Они производят значительную часть промышленной продукции республики. По плану в районе предусмотрено дальнейшее развитие химической промышленности, цветной металлургии и других отраслей народного хозяйства.

Величина водопотребления на промышленные нужды района определена в $23 \text{ м}^3/\text{сек}$, сточных вод свыше $5,0 \text{ м}^3/\text{сек}$. Ввиду ограниченности поверхностных водных ресурсов часть водопотребления (около $10 \text{ м}^3/\text{сек}$) рассчитывают получить за счет подземного потока.

В настоящее время подземный поток Ахангарана загрязнен промышленными стоками Алтынопканского комбината и других предприятий, а также хозяйственно-бытовыми стоками, что влияет на качество воды источников водоснабжения городов и поселков, расположенных в долине реки.

Все это обусловило проведение работ по изучению степени загрязнения подруслового потока долины Ахангарана и разработку мероприятий по его охране.

По геологии и гидрогеологии бассейна Ахангарана известно свыше 300 работ (например, исследования Н. П. Васильковского, Р. В. Бородин и др.). Однако они посвящены разведке полезных ископаемых, наличию водных ресурсов; лишь в некоторых работах рассмотрен состав подземных вод и возможность их загрязнения.

В 1964 г. отдел водоснабжения и охраны водных источников САНИИРИ начал комплексное изучение степени загрязнения подземного потока реки. Основные вопросы исследования: 1) изучение количественных и качественных характеристик и режимов промышленных сбросов Алмалыка, Ангрена, Чигирика и др., 2) определение качества воды и оценка степени загрязнения подземного потока Ахангарана, 3) разработка рекомендаций по охране подруслового потока долины Ахангарана.

Режимы сбросов, количественные и качественные характеристики сточных вод исследовали на Угольном разрезе, шахте 9, ТЭЦ Ангрена, свинцово-цинковой и меднообогатительной фабриках Алтынопканского комбината и ТЭЦ Алмалыка, а также на других предприятиях.

В результате установлено, что основные загрязнители подземного потока в бассейне Ахангарана — меднообогатительная и свинцово-цинковая обогатительная фабрики Алтынопканского комбината. Стоки

меднообогатительной фабрики имеют минерализацию до 7430 мг/л, общую жесткость до 120 мг·экв/л, содержание сульфатов до 1980 мг/л, меди до 40 мг/л, железа до 300 мг/л, цинка до 49 мг/л, свинца до 1,25 мг/л.

В стоках свинцово-цинковой фабрики содержится свинца до 5,25 мг/л, цинка до 8 мг/л, железа до 0,31 мг/л, меди до 8,4 мг/л. Стоки фабрик, фильтруясь через незакольтматированное дно хвостохранилища и систему отстойников, попадают в подземный поток, загрязняют его солями тяжелых металлов и остатками флотореагентов.

Степень загрязнения подземных вод долины Ахангарана исследовали по следующим створам:

1) Ангренскому (по одной скважине), установленному как эталон незагрязненных вод долины Ахангарана;

2) Карахтайскому (по двум скважинам), установленному для контроля за загрязнением подземного потока предприятиями Ангрена и хозяйственно-бытовыми сбросами вышележащих поселков;

3) Московскому и Сартамгалинскому (по семи скважинам), установленным для контроля за качеством воды питьевого водозабора;

4) Ташскому створу (по семи скважинам) производственного назначения, но воды его используют и для питьевых целей;

5) Алмалыкскому створу (по двум скважинам), установленному для контроля за качеством воды выше сбросов Алтытопканского комбината;

6) после хвостохранилища меднообогатительной фабрики. Установлен для исследования загрязнения подземного потока сбросами меднообогатительной фабрики;

7) Кераучимогольскому (два колодца и родник), установленному для наблюдения за распространением загрязнения подземного потока сбросами меднообогатительной фабрики;

8) Саганакскому (по трем скважинам), установленному для определения полосы загрязнения подземного потока стоками меднообогатительной фабрики;

9) Пскентскому (две скважины), установленному для определения границ распространения загрязнения подземного потока.

В результате проведенных работ установлено, что подземные воды бассейна Ахангарана в Ангренском, Карахтайском, Сартамгалинском, Ташском и Алмалыкском створах средней или незначительной минерализации. Например, в Сартамгалинском створе плотный остаток в скважине 9 второй надпойменной террасы составляет 390—412 мг/л; в скважине 13 первой надпойменной террасы 246—342 мг/л. В Алмалыкском створе плотный остаток колеблется от 234 до 762 мг/л.

Незначительная минерализация подземных вод по створам подтверждена величиной общей жесткости по створам. Изменение этой величины в бассейне Ахангарана приведено ниже.

Створ	Общая жесткость, мг·экв/л
Ангренский	2,56—6,18
Карахтайский	2,6 —6,4
Московский	3,19—7,06
Сартамгалинский	3,63—7,01
Ташский	6,35—8,24
Алмалыкский	3,41—7,68

Содержание кальция и магния колеблется соответственно 25 мг/л, 7—113 мг/л, 42 мг/л, 7,8—49 мг/л, 36 мг/л. В незначительных концен-

трациях находятся хлориды — 8—30,2 мг/л, сульфаты — 37,86—287 мг/л.

Наибольшее изменение посезонной минерализации наблюдается в летний период во время минимального расхода подземного потока, наименьшее — весной — в период максимального расхода (рис. 1).

Подземный поток Ахангарана ниже Алмалыкского створа в сторону долины Геджигена загрязнен промышленными стоками медно-обогатительной фабрики Алтынтопканского комбината.

Промстоки меднообогатительной фабрики, фильтруясь через галечниковое основание хвостохранилища, влияют на подземный поток,

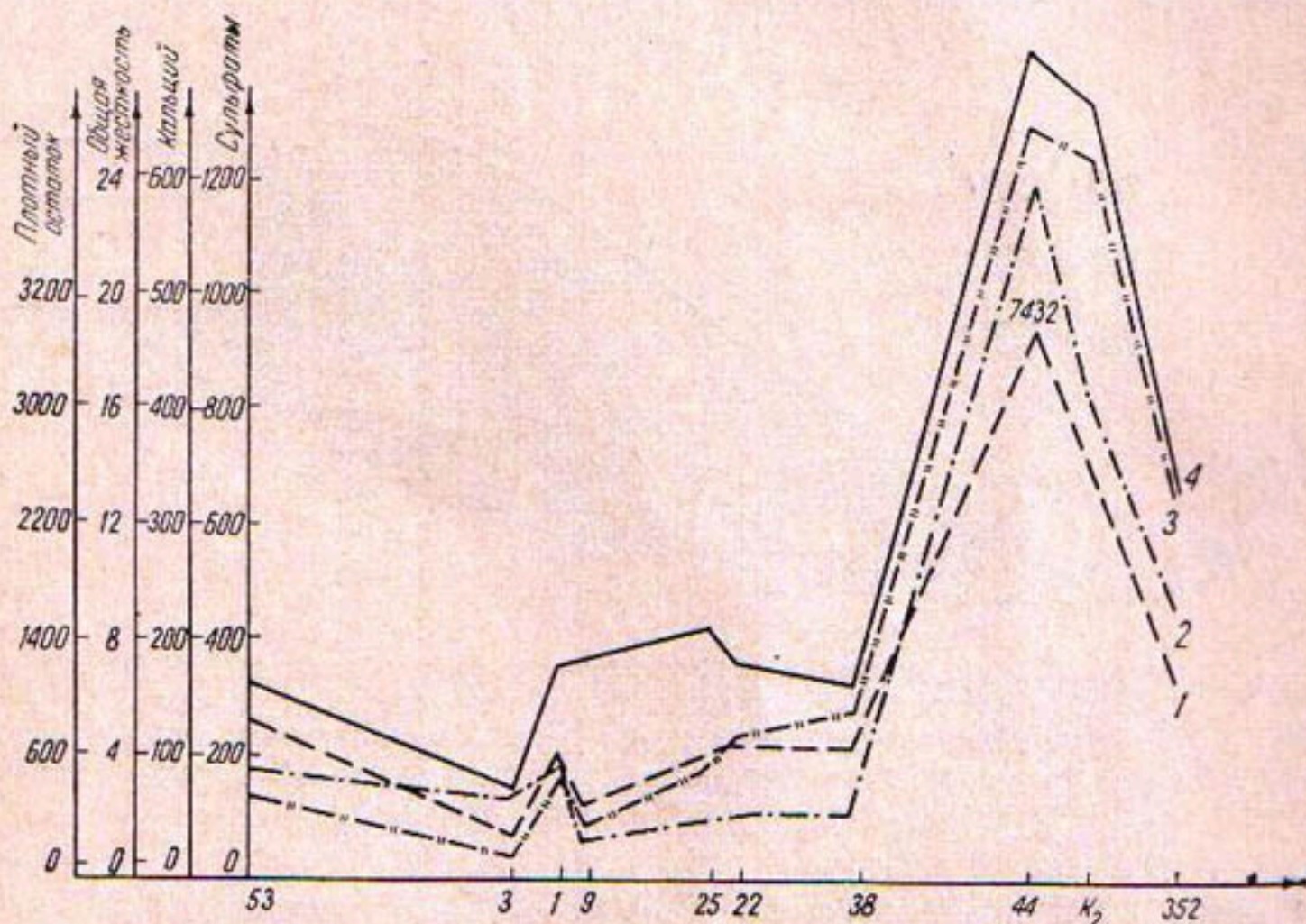


Рис. 1. График загрязнения долины Ахангарана (мг/л):

1 — плотный остаток; 2 — кальций; 3 — сульфаты; 4 — общая жесткость. По оси абсцисс даны номера скважин и колодцев.

увеличивая его минерализацию. Так, до постройки хвостохранилища минерализация подземных вод в этом районе составляла 170—324 мг/л, а в настоящее время — 7430 мг/л.

Хвостохранилище МОФ (меднообогатительной фабрики) расположено в долине Ахангарана, где Пскентский массив делит подземный поток на две ветки — Геджигенскую и Ангренскую. Отдел охраны вод САНИИРИ исследовал влияние хвостохранилища меднообогатительной фабрики на обе ветки.

В результате исследований выявлено, что в основном загрязняется подземный поток по Геджигенской ветке. Меньшее загрязнение наблюдается по Ангренской ветке, так как в нее попадают слабо минерализованные подземные воды первой надпойменной террасы.

В скважине 317, расположенной на Ангренской ветке в 7 км от хвостохранилища, степень минерализации воды незначительная: плотный остаток 298 мг/л, общая жесткость 3,42 мг·экв/л, кальций 40,7 мг/л, магний 20,8 мг/л, сульфаты 51,8 мг/л.

Граница засоления подземного потока в сторону Геджигенской ветки от западного контура хвостохранилища с годами увеличивается.

в 1962 г. она составляла 2,2 км, в 1963 г. — 3,8 км, а в 1964 г. — около 7 км (рис. 2).

Загрязняется подземный поток следующим образом: в зоне активного влияния хвостохранилища (скважины 1, 5, 7, 10, 11) минерализация колеблется в пределах 5000—7500 мг/л. Тогда как в 1963 г. максимальная степень минерализации в этой зоне составляла 3300—5500 мг/л.

Зона со степенью минерализации 3000—5000 мг/л распространяется вниз по потоку на 2,0 км от западной дамбы хвостохранилища, с минерализацией 3000—2000 мг/л — на 1,5 км (в кол. 2 Кераучимогольского створа, расположенного в пределах этой зоны, максимальная

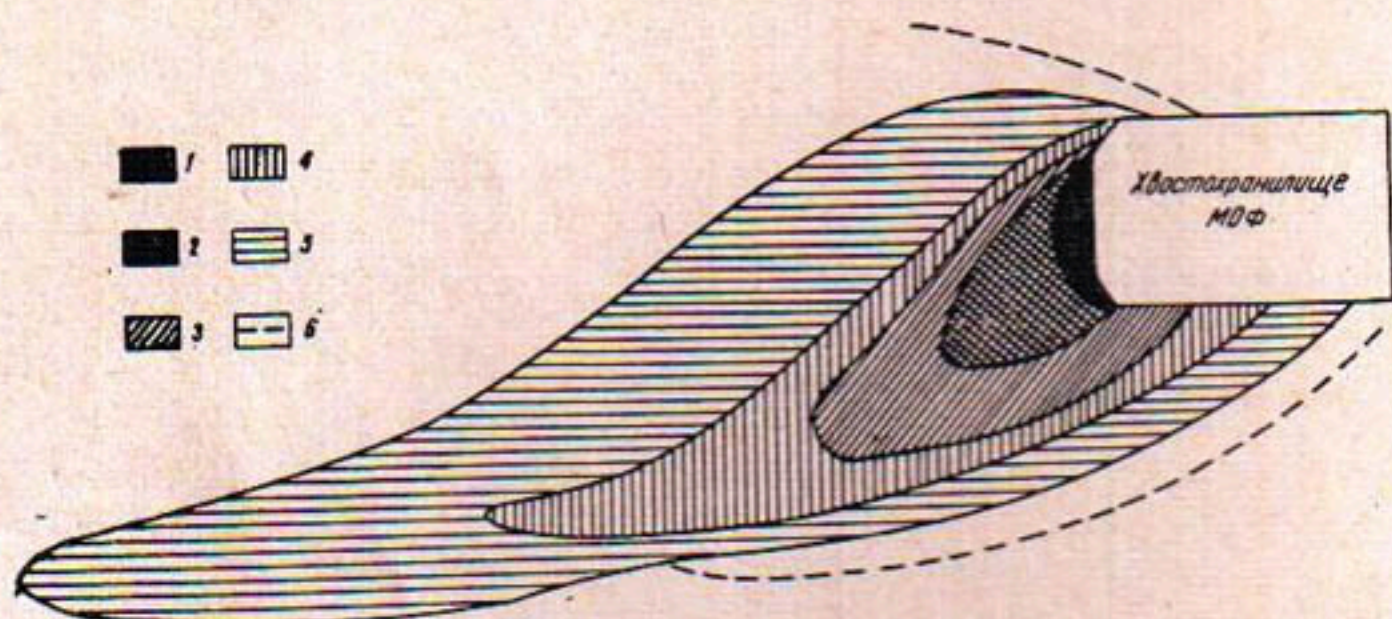


Рис. 2. Схема загрязнения подруслового потока долины Ахангарана проточками меднообогатительной фабрики Алтынтопканского свинцово-цинкового комбината. Степень минерализации (мг/л):

1 — от 7500 до 5000; 2 — от 5000 до 3000; 3 — от 3000 до 2000; 4 — от 2000 до 1000; 5 — от 1000 до 500; 6 — от 500 до 300.

величина плотного остатка 2680 мг/л); с минерализацией 1000—2000 мг/л — на 2,5 км. Минерализация в скважине 352 Саганакского створа, находящейся в этой зоне, составляет 1166 мг/л. Далее следует зона с минерализацией 500—1000 мг/л.

Если учесть степень минерализации до постройки хвостохранилища в этом районе (170—324 мг/л), можно считать, что подземные воды засолялись стоками меднообогатительной фабрики. В дальнейшем в этом районе возможно повышение степени минерализации грунтовых вод. Помимо увеличения общей минерализации грунтовых вод в Геджигенской ветке долины Ахангарана в результате загрязнения производственными сточными водами, в долине реки наблюдается повышенное органическое загрязнение грунтовых вод по створам.

В некоторых створах содержание аммиака в 2—11 раз превышает норму, а БПК₅ в 2—9 раз (табл. 1). Все это свидетельствует о значительном органическом загрязнении грунтовых вод. Поэтому воды на створах Ангренском, Московском, Сартамгалинском, частично Ташском и Алмалыкском, используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения, необходимо обязательно хлорировать.

Установлено незначительное загрязнение грунтовых вод долины Ахангарана фенолами в пределах от 0,0 до 0,004 мг/л (норма по правилам 372 от 1961 г. — 0,001 мг/л).

Содержание фенолов в грунтовых водах увеличивается в створах после хвостохранилищ меднообогатительной и свинцово-цинковой фабрик в результате применения на них фенольных реагентов для обога-

щения руд. Анализом от 1 марта 1964 г. установлено, что содержание фенолов в отстойниках свинцово-цинковой обогатительной фабрики колеблется от 3,21 до 1,07 мг/л, а в пульпе меднообогатительной фабрики до 4,9 мг/л и выше. Содержание фенолов в грунтовых водах в несколько раз превышает нормативы в створах, расположенных ниже производственных сбросов обогатительных фабрик. В скважинах питьевого назначения фенолов содержится иногда до 0,06 мг/л, что превышает нормы в 60 раз.

В грунтовых водах Ангренского, Карахтайского, Московского, Сартамгалинского, Ташского и Алмалыкского створов отмечены незначительные количества тяжелых металлов (природные — фоновые со-

Таблица 1

Створ	1954 г.		1964 г.			
	NH ₄ , мг/л	БПК ₅ , мг/л	окисляе- мость, мг/л	NH ₄ , мг/л	БПК ₅ , мг/л	окисляе- мость, мг/л
Ангренский (скв.)	—	—	—	0,2—68	3—23	—
Карахтайский . .	—	—	—	0—0,2	—	—
Московский . . .	—	2,5—3	0,6—1,2	—	5,8—10	56—104
Сартамгалинский .	0—0,8	—	0,5—1,2	0,1—0,4	—	32—16
Ташский	—	—	—	0,7	7,76	16
Алмалыкский . .	—	—	—	0—1,16	26,6	—

держания). Например, фоновое наличие меди в грунтовых водах данного района колеблется от 0 до 0,3 мг/л. Однако в результате фильтрации из хвостохранилища свинцово-цинковой и меднообогатительной фабрик количество тяжелых металлов в грунтовых водах Геджигенской ветки долины Ахангарана значительно возросло. Так, меди в пульпе меднообогатительной фабрики сбрасывается до 40 мг/л, в пульпе свинцово-цинковой фабрики — до 12 мг/л, в отстойниках свинцово-цинковой фабрики ее содержание до 12 мг/л, а в прудке меднообогатительной фабрики — 22,5 мг/л.

При фильтрации из хвостохранилища в подземный поток количество меди в грунтовых водах по створам, расположенным ниже обогатительных фабрик, увеличивается.

В колодцах пос. Кераучи концентрация меди до 4 мг/л и выше. В Саганакском створе концентрация ее снижается до 0,2—1,0 мг/л.

По предварительным данным, в сточных водах находится от 10 до 15% флотореагентов с Zn, Pb, Cu, Fe и пустая порода.

Большая часть реагентов и ионов тяжелых металлов адсорбируется на частицах грунта. В прудке Cu и Ni под действием нейтрализации образуют основные соли $\text{Cu}(\text{OH})_2\text{CO}_3$, так как кислая среда в прудковых водах нейтрализуется известью не полностью — осадения тяжелых металлов не наблюдается. Пульпа имеет, как правило, pH от 3,5 до 7, что определяет степень нейтрализации стока. Как известно, кислые стоки меднообогатительной фабрики образуются вследствие сливов их конусных классификаторов и магнитных сепараторов.

Вопрос загрязнения медью и железом подземного потока, аккумуляирования его в грунтах в виде солей и последующее влияние их на состав подземных вод при различной степени нейтрализации известью необходимо дополнительно изучить.

Железо отмечено во всех створах с концентрацией от следов до 6 мг/л. Высокое содержание железа наблюдается в скважине Ангренского створа (до 2,5 мг/л), что недопустимо для питьевых вод.

В скважинах Сартамгалинского и Московского створа содержание железа (до 0,2 мг/л) не превышает допустимые нормы на питьевую воду (норма по ГОСТу 2874-54; Fe — 0,3 мг/л). Установлено, что стоки свинцово-цинковой обогатительной фабрики в количестве 0,3—0,5 м³/сек, содержащие медь до 8,4 мг/л, цинк до 8 мг/л и свинец до 5,25 мг/л, поступают в основную чашу хвостохранилища, а затем осветленные стоки подаются в три пруда отстойника, не имеющие отвода осветленных вод.

Экспериментально доказано, что около 2% осветленных вод из отстойников испаряется, остальные 98% фильтруются в подземный поток, загрязняя его ионами тяжелых металлов и остатками флотореагентов. В отводном канале теряется 13%; в первом отстойнике — 15%, во втором до 40, в третьем — 32.

Содержание свинца в незагрязненных промстоками створах колеблется от 0,002 до 0,02 мг/л. Увеличение концентрации свинца в 10—50 раз наблюдается в створах после хвостохранилищ меднообогатительной и свинцово-цинковой обогатительной фабрик.

Повышенное количество цветных металлов железа, а также ядов цианидов и фенолов в промстоках меднообогатительной и свинцово-цинковой фабрик создает серьезную угрозу загрязнения подруслового потока Ахангарана этими компонентами. Поэтому необходимо принять соответствующие меры.

1) создать зоны строгой санитарной охраны на водозаборах хозяйственно-питьевых вод;

2) ввести в действие оборотную систему водоснабжения на меднообогатительной фабрике;

3) обеспечить постоянную работу контурного водозабора на хвостохранилище меднообогатительной фабрики;

4) использовать осветленные сточные воды из отстойников свинцово-цинковой обогатительной фабрики в оборотной системе водоснабжения на меднообогатительной;

5) нормировать сточные воды промпредприятий по компонентам;

6) систематически проводить стационарные наблюдения за режимом и измерением химического состава грунтовых вод в долине Ахангарана.

Из вышеизложенного следует, что:

1) свинцово-цинковая и меднообогатительная фабрики Алтынтопканского свинцово-цинкового комбината — основные загрязнители подруслового потока долины Ахангарана;

2) в результате фильтрации стоков из хвостохранилища меднообогатительной фабрики в подрусловой поток зона загрязнения увеличилась с 2,2 км в 1962 г. до 7 км в 1964 г.;

3) степень минерализации грунтовых вод в створах за хвостохранилищем меднообогатительной фабрики увеличилась с 324 мг/л (до постройки хвостохранилища) до 7500 мг/л;

4) вследствие применения фенольных реагентов на обогатительных фабриках комбината содержание фенолов в грунтовых водах за хвостохранилищем в десятки раз превышает допустимые нормы;

5) увеличение содержания свинца, цинка и меди в грунтовых водах в десятки раз — результат фильтрации промстоков из хвостохранилищ свинцово-цинковой и меднообогатительной фабрик;

6) осветленные сточные воды свинцово-цинковой обогатительной фабрики, содержащие фенолы, цианиды, свинец, цинк, медь, из прудов отстойников почти полностью фильтруются в подземный поток. Для определения границ зоны загрязнения стоками свинцово-цинковой обогатительной фабрики необходимы дополнительные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алекин А. О. Основы гидрохимии, Л., Гидрометеониздат, 1953.
 2. Антонов В. Опыт работы Зыряновского свинцового комбината по очистке промышленных сточных вод, Алма-Ата, Казгосиздат, 1963.
 3. Бородин Р. В. Подземные воды межгорной долины р. Ангрен, Ташкент, изд. САМГУ, 1960.
 4. Турчинович В. Т., Лапшин М. И. Основы регулирования качества воды, М., Изд-во АН СССР, 1950.
-

А. П. ОРЛОВА, О. С. ДЕРМОЯН

СТЕПЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОТОКОВ ДЖУНА И КАРАКУЛЬДУКА И НЕКОТОРЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ОХРАНЕ

Водотоки Джун и Каракульдук — отводы канала Салар. Воды их используют в основном для орошения, а население Янгиюльского и Чиназского районов — для хозяйственно-бытовых нужд.

Для изучения степени загрязнения каналов сточными водами отдел охраны вод САНИИРИ установил по Джуну — 5 и по Каракульдуку — 7 створов.

Джун разделили на 4 приблизительно равных участка, в конце и в начале которых установили створы.

На Каракульдуке определили створы: 40 — Ниязбаш-Каракульдукский узел (головное сооружение Каракульдука); 41 и 42 — створы до и после Янгиюля; 43, 44, 45 — створы, с учетом влияния сбросов поселков Пахта, Вревский; 46 — конечное сооружение канала.

Гидрологические характеристики каналов по исследуемым створам приведены в табл. 1.

Каналы Джун и Каракульдук — приемники как производственных, так и хозяйственно-бытовых сточных вод.

Основные загрязнители канала Джун — предприятия Ташкента. сточные воды с которых поступают в канал (Джун-Саларский узел).

В Джун сбрасывают стоки завод резиновых изделий ($660 \text{ м}^3/\text{сут}$) и другие мелкие предприятия (автобаза 4, консервная база, утилькомбинат, свинобаза, база Промбурвод и др.). Каждый из сбросов мал и не учтен, но все вместе они влияют на качество воды Джуну.

Засоряют Джун и мусорные свалки на его берегах и хозяйственно-бытовые сбросы прибрежных поселков. По С. Н. Строганову рассчитано, что в канал ежегодно сбрасывается взвешенных веществ 592 т, хлоридов 118,5 т; БПК₅ составляет 264,7 т/год, окисляемость 1110 т/год. На качество воды Каракульдука влияют производственные и хозяйственно-бытовые сбросы из Янгиюля, пос. Пахта, Вревский и др.

Основные загрязнители Каракульдука — Янгиюльские промышленные предприятия: масложиркомбинат, консервный и молочный заводы, экспериментально-колбасный цех.

Янгиюльский экспериментально-колбасный цех сбрасывает ежедневно 720 м^3 сточных вод почти без предварительной очистки. В стоках содержится большое количество растворенных солей (плотный остаток — 4080 мг/л , хлориды 752 мг/л , сульфаты 1323 мг/л) и органических соединений (окисляемость — 2000 мг/л KMnO_4).

Янгиюльский винзавод сбрасывает $320 \text{ м}^3/\text{сут}$ сточных вод. Со стоками винзавода в Каракульдук попадают органические соединения (азот

Таблица 1

Номер створа	Створ	Расход, $\text{м}^3/\text{сек}$	Скорость, $\text{м}/\text{сек}$
Канал Джун			
30	Джуно-Саларский узел	$\frac{32,0}{3,5}$	$\frac{1,65}{0,74}$
31	Колхоз «Коммунизм»	$\frac{26,0}{2,9}$	$\frac{1,60}{0,77}$
32	Гидропост Шуралисай	$\frac{18,2}{2,2}$	$\frac{1,40}{0,74}$
33	Пахтинский створ	$\frac{11,7}{1,8}$	$\frac{1,3}{0,75}$
34	95-е сооружение	$\frac{0,0}{0,0}$	$\frac{0,0}{0,0}$
Канал Каракульдук			
40	Ниязбаш-Каракульдукский узел	$\frac{9,1}{2,2}$	$\frac{1,42}{0,88}$
41	До Янгиюля	$\frac{8,8}{2,1}$	$\frac{1,40}{0,86}$
42	После Янгиюля	$\frac{8,6}{2,0}$	$\frac{1,44}{0,80}$
43	Пахтинский	$\frac{5,5}{1,9}$	$\frac{1,25}{0,86}$
44	Вревский	$\frac{2,1}{0,95}$	$\frac{1,02}{0,79}$
45	Мост на 60-м км Янгиерского шоссе	$\frac{0,8}{0,32}$	$\frac{0,82}{0,6}$
46	Концевое сооружение	$\frac{0,7}{0,3}$	$\frac{0,82}{0,30}$

Примечание. В числителе приведены максимальные расходы и скорости, в знаменателе—минимальные.

Для канала Джун средний уклон 0,001; для Каракульдука—0,002.

аммонийный 25 мг/л; окисляемость 2400 мг/л по KMnO_4) взвешенными веществами и растворенными солями.

Янгиюльский консервный завод сбрасывает в Каракульдук 6000 $\text{м}^3/\text{сут}$ сточных вод после механической очистки. В стоках находится большое количество растворенных солей (плотный остаток 992 мг/л) и органических веществ (окисляемость 1800 мг/л по KMnO_4 , азот аммонийный — 8,5 мг/л).

Янгиюльский масложиркомбинат основной загрязнитель канала Каракульдук; его сброс составляет 9600 $\text{м}^3/\text{сут}$. В сточных водах присутствует большое количество взвешенных веществ (890 мг/л), растворенных солей (плотный остаток 2110 мг/л). Окисляемость — 3600 мг/л по KMnO_4 .

Предприятия Янгиюля сбрасывают в канал Каракульдук 2286 т/год взвешенных веществ; 17,3 т/год аммонийного азота. Окисляемость — 8296 т/год; БПК₅ — 16 т/год.

Кроме производственных сбросов, Каракульдук принимает хозяйственно-фекальные стоки из Янгиюля, поселков Пахты, Вревского и др.

С этими стоками в Каракульдук поступает 724 т/год взвешенных веществ, 143,8 т/год аммонийного азота; 143,8 т/год хлоридов; БПК₅ составляет 487 т/год, окисляемость — 1340 т/год.

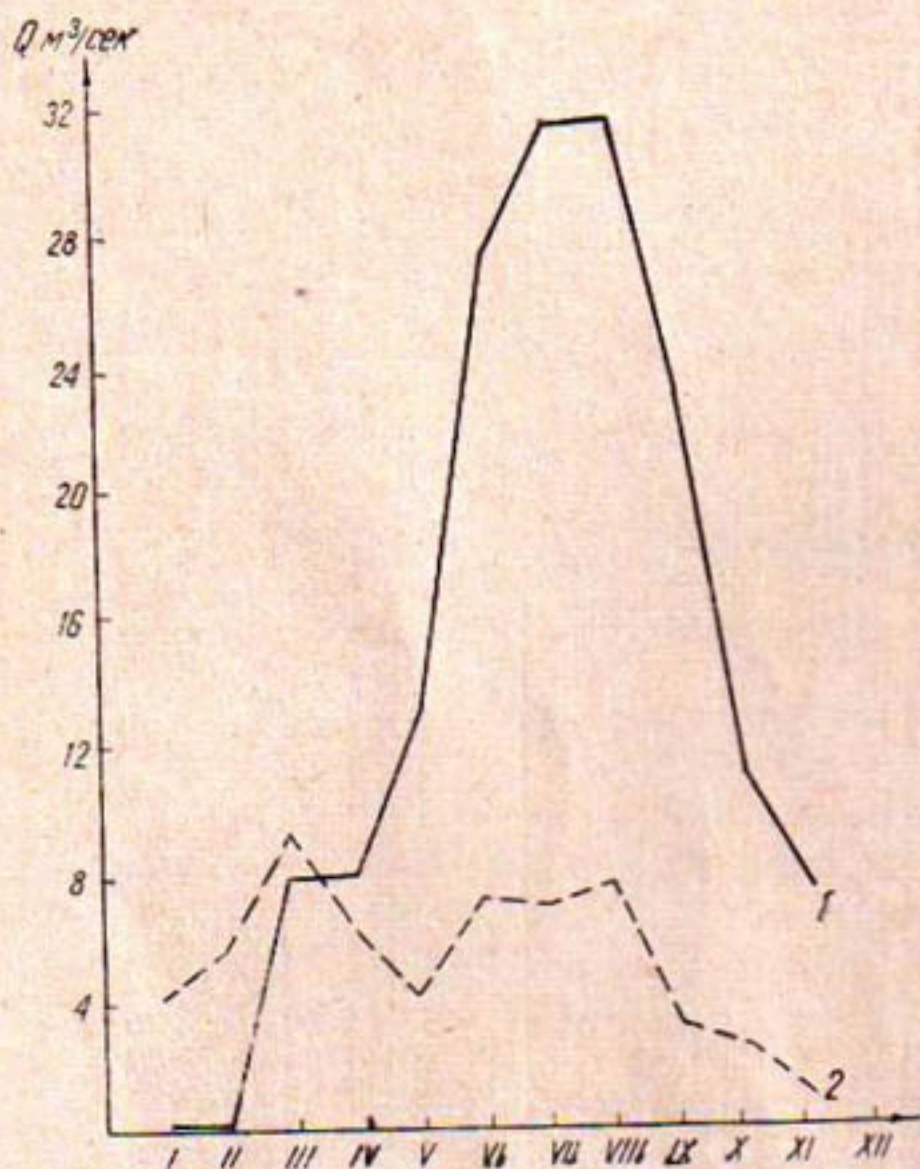


Рис. 1. Гидрологическая характеристика водотоков Джун и Каракульдук (среднемесячные расходы 1963 г.):
1 — Джун; 2 — Каракульдук

При исследовании состояния канала Джун, проведенном отделом охраны водных источников САНИИРИ, выявлено, что степень загрязнения канала в основном зависит от его гидрологического режима.

Максимальные расходы воды до 32 м³/сек наблюдаются летом, минимальные — 0—3,5 м³/сек — зимой. Такой режим работы канала и определяет распределение загрязнений в течение года (рис. 1). Так, летом, в период максимального разбавления, отмечено наименьшее загрязнение, зимой, в период минимальных расходов — максимальное.

В марте при температуре воды 8—9° БПК₅ составляет 4—7,16 мг/л; в июле при температуре 16—19° — 1,4—3,01 мг/л, причем расход воды в марте меньше июльского в 4 раза. Подобное явление наблюдается и в распределении концентрации аммиака: в лет-

ний период она составляет 0,12—1,0 мг/л, в весенне-зимний до 10 мг/л. Поэтому качество воды канала Джун определяется разбавлением. Такая характеристика специфична для каналов в условиях Средней Азии.

Одним из показателей хозяйственно-бытового загрязнения канала является коли-титр, который составляет для Джун 0,0000004—0,00000004. Это свидетельствует о значительном загрязнении канала хозяйственно-бытовыми сбросами.

Наряду с понижением коли-титра значительно превышают допустимые нормы БПК₅ и аммиак: БПК₅ достигает 8,4 мг/л при норме 4 мг/л; концентрация аммиака — 10 мг/л при норме 0,1 мг/л.

Исследования загрязнения канала Каракульдук проводили с января по ноябрь 1963 г. В результате определено, что содержание взвешенных веществ в канале колеблется от 16,7 мг/л до 1656 мг/л (рис. 2). Причем содержание взвесей возрастает от головы канала до конечного сооружения. Это объясняется интенсивным размывом русла вследствие больших скоростей на участке от Пахтинского створа до конечного сооружения.

Вода Каракульдука имеет повышенную минерализацию (до 1138 мг/л) и общую жесткость (до 11,8 мг·экв/л), которые резко возрастают в створах после Янгиюля — Пахтинском, Вревском и конечном — следствие подруслового подпитывания и промышленных сбросов Янгиюля.

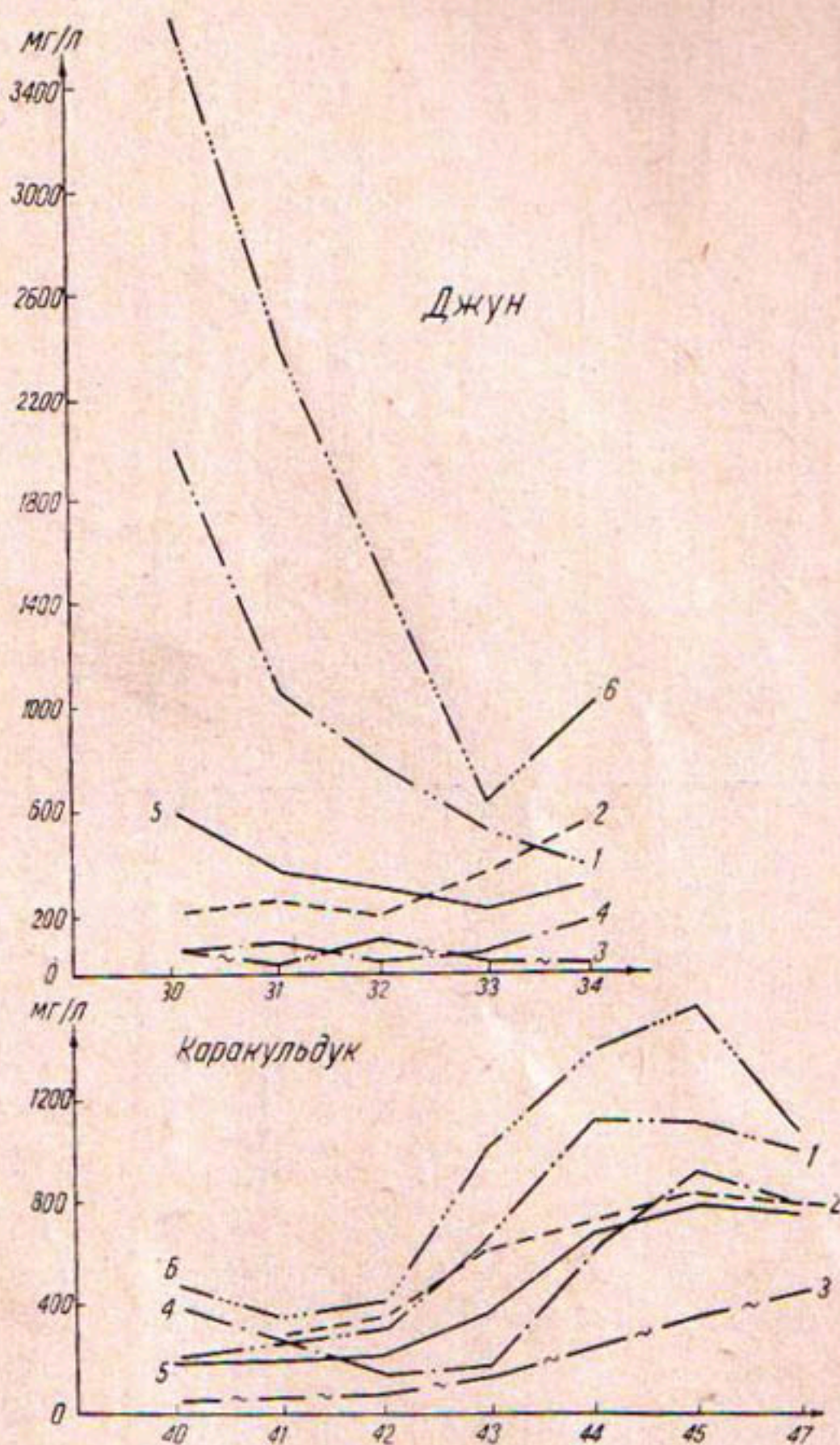


Рис. 2. Содержание взвешенных веществ в каналах Джун и Каракульдук:

1 — весна; 2 — лето; 3 — осень; 4 — зима; 5 — среднегодовое; 6 — максимальное.

Примечание. По оси абсцисс приведены номера створов.

Среднегодовое содержание аммиака в Каракульдуке составляет 0,2—0,4 мг/л (рис. 3); максимальное наблюдается осенью — до 2,2 мг/л; минимальное — зимой.

Показатель органического загрязнения канала — повышенное БПК₅ — до 9,6 мг/л (рис. 4). Максимальные величины БПК₅ — летом и в начале осени, минимальные — зимой. БПК₅ распределяется по створам следующим образом: в головном створе (Ниязбаш-Каракуль-

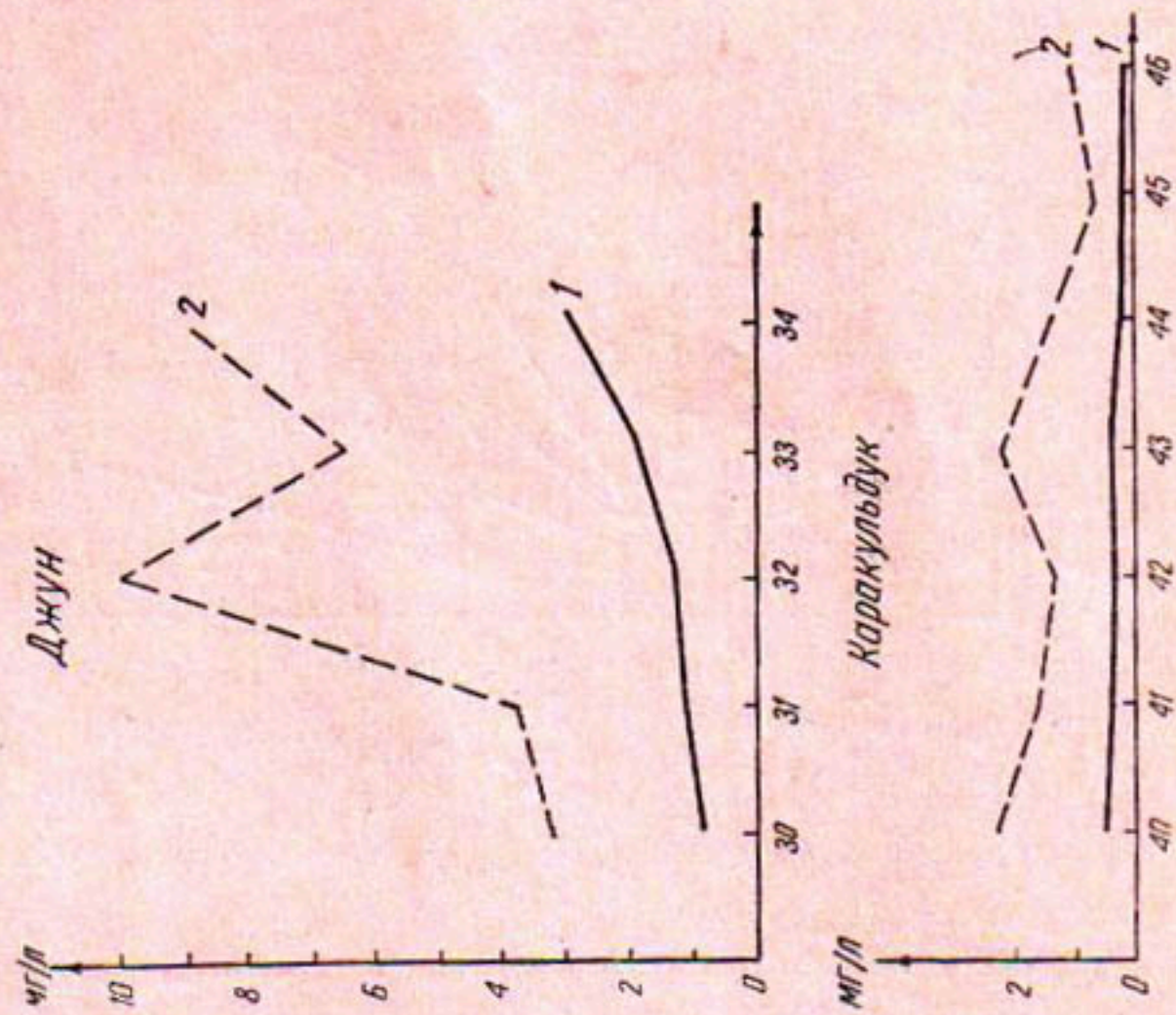


Рис. 3. Содержание аммиака в каналах Джун и Каракульдук.

Примечание. 1 — среднегодовое; 2 — максимальное. По оси абсцисс приведены номера створов.

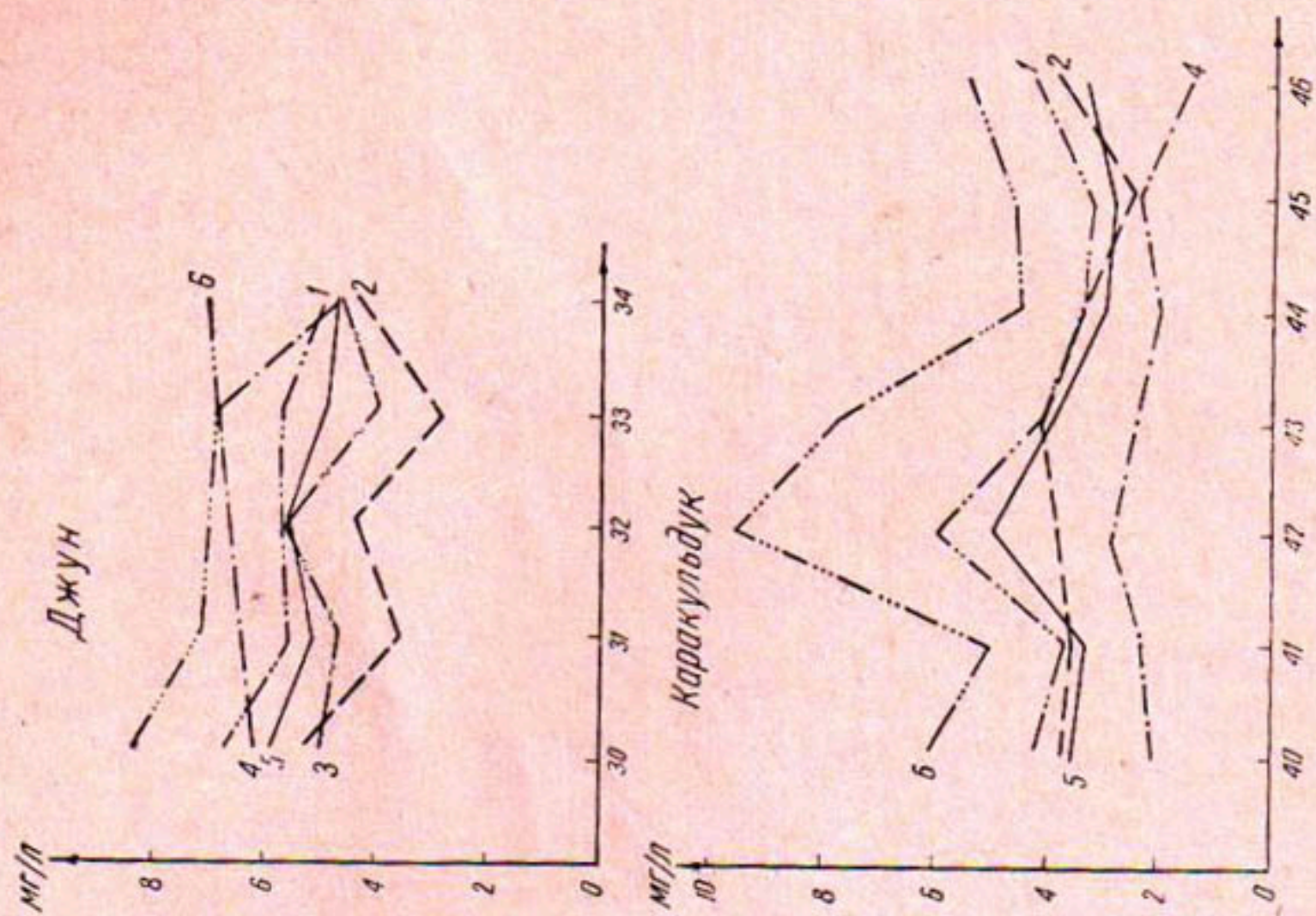


Рис. 4. БПК₅ каналов Джун и Каракульдук.

1 — весна; 2 — лето; 3 — осень; 4 — зима; 5 — среднегодовое; 6 — максимальное.

Примечание. По оси абсцисс приведены номера створов.

дукском узле) БПК₅ находится в пределах 1,6—6,12 мг/л; в створе перед Янгиюлем оно несколько снижается — 1,97—5 мг/л, затем вследствие производственных и хозяйственно-бытовых сбросов резко возрастает, достигая 9,6 мг/л. В следующих створах БПК₅ снижается (до 1,2 мг/л зимой и 7,1 мг/л летом).

В зимний период аммиак в Каракульдуке отсутствует, летом его концентрации составляют 0,1—0,35 мг/л. Количество растворенного кислорода в течение всего года не падает ниже допустимых норм.

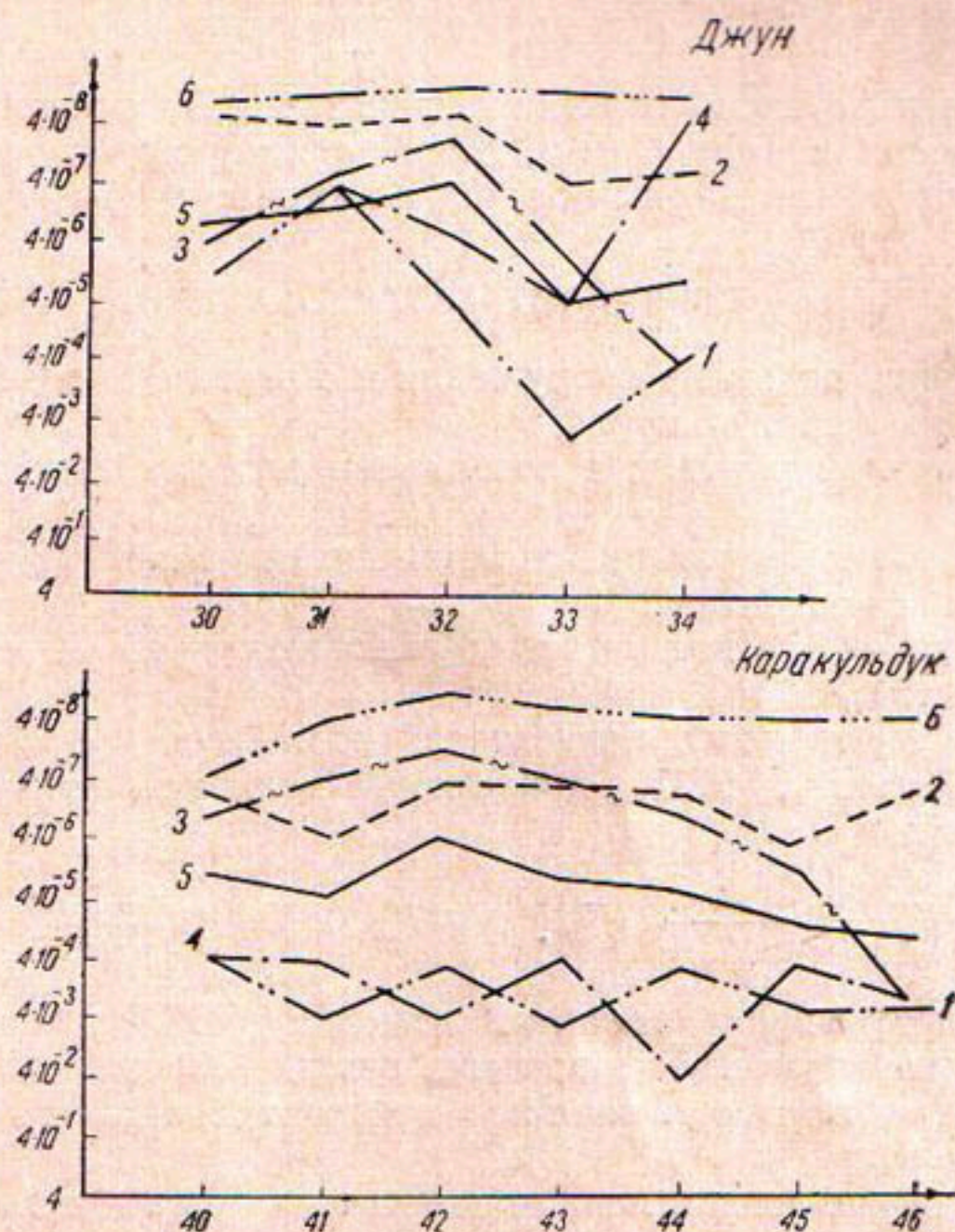


Рис. 5. Коли-титр каналов Джун и Каракульдук:
1 — весна; 2 — лето; 3 — осень; 4 — зима; 5 — среднегодовой;
6 — максимальный.
Примечание. По оси абсцисс приведены номера створов.

Бактериологическое состояние Каракульдука наихудшее в летний период, когда коли-титр во Вревском и Пахтинском створах падает до 0,00000004. В весенний и зимний период он поднимается до 0,04 (рис. 5).

Повышенное БПК₅, увеличенное содержание аммиака, пониженный коли-титр в канале Каракульдук свидетельствуют о значительном загрязнении канала.

Особенно резко изменяются посезонные показатели в створе после Янгиюля, где БПК₅ достигает 9,6 мг/л, аммиак — 0,35 мг/л, коли-титр — 0,00000004, что значительно превышает допустимые нормы.

Кроме того, для Каракульдука характерны повышенная жесткость (до 11,76 мг·экв/л) и степень минерализации (до 1038 мг/л) в результате сбросов промпредприятий Янгиюля и подруслового подпитывания.

Исследованиями выявлено, что каналы Джун и Каракульдук сильно загрязнены сточными водами. Такое загрязнение недопустимо, если учесть, что воды этих каналов используют для хозяйственно-бытовых нужд из-за отсутствия других источников водоснабжения.

Отдел охраны вод САНИИРИ считает, что для охраны Джун и Каракульдука от загрязнения необходимо провести следующие мероприятия.

ПО КАНАЛУ ДЖУН

1. Улучшить степень очистки сточных вод Ташкента, снизить степень загрязнения канала Салар, отводом которого служит Джун.
2. Установить санитарный попуск по каналу в 15—17 м³/сек.

ПО КАНАЛУ КАРАКУЛЬДУК

1. Построить очистные сооружения в Янгиюле и поселках, сбрасывающих стоки в Каракульдук.
2. Перевести прибрежные поселки на водоснабжение подземными водами.
3. Провести нормирование стоков янгиюльских промпредприятий по отдельным компонентам.

Нормирование проводили по общесанитарному и органолептическому показателю вредности.

По общесанитарному показателю вредности проведено нормирование окисляемости и БПК₅, допустимые величины которых определялись формулой:

$$K_{\text{ст}} = \frac{aQ}{q \cdot 10^{-k't}} (K_{\text{пр. доп}} - K_p 10^{-k''t}) + \frac{K_{\text{пр. доп}}}{10^{-k''t}},$$

где $K_{\text{ст}}$ — концентрация органических веществ (в БПК или окисляемости), которая получится в процессе очистки стоков;

K_p — концентрация органического вещества в водотоке спуска сточных вод;

$K_{\text{пр. доп}}$ — предельно-допустимая концентрация органических веществ в водотоке;

k', k'' — константы потребления кислорода органическими веществами сточных вод и воды водотока;

t — время (в сутках) передвижения воды от места выпуска стоков до ближайшего пункта водопользования;

a — коэффициент смешения;

Q, q — расходы реки и сточных вод.

Таблица 2

Предприятие	БПК-5		Окисляемость		Взвешенные вещества	
	существующее	допустимое	существующая	допустимая	существующие	допустимые
Масложиркомбинат	7,2	0,65	4032	11,0	—	—
Консервный завод	7,47	0,40	3240	26	218	1,6
Винзавод	0,63	0,47	230,4	1,40	89,2	8,76
Молочный завод	0,32	0,26	14,1	0,70	36,6	4,9

Максимальное загрязнение каналов

Анализ	Номер створа												
	30	31	32	33	34	40	41	42	43	44	45	46	
	Джун						Каракульдук						
Температура	15,5	16	17	18	19	16	17	17,5	20	20	21	21	
Взвешенные вещества	3686	2467	1546,6	671,4	1038,2	506	395	452	1054	1410	1559	1590	
Плотный остаток	328	356	388	452	230	568	556	790	1130	1138,2	1656,4	1006	
Общая жесткость	3,98	4,5	4,8	3,92	4,1	5,5	7,18	8,65	11,57	10,97	11,36	11,76	
Азот аммонийный	3,2	3,75	10	6,5	9	2,2	1,5	1,35	2,1	1,3	0,66	0,8	
Азот нитритов	0,083	0,1	0,5	0,15	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,1	0,2	0,11	
Азот нитратов	6	3	3	7,5	4,5	6	7,5	10	7,5	6	10	7,5	
Окисляемость	210	84	80	156	64	44	60	70	124	46	60	184	
Растворенный кислород	8,85	9,5	9,15	9,7	10,5	7,5	7,17	8,5	8,3	7,96	9,2	8,8	
Дефицит кислорода	49	36	38	37	33	64	64	62	68	61	63,5	61	
Баланс кислорода	1,63	4,9	4,2	6,2	5,9	3,2	3,82	4,3	5,68	4,2	6,1	4,7	
БПК-5	8,4	637,16	7	6,85	7	6,12	5	9,6	7,8	4,6	4,7	5,5	
pH	8,9	8,6	8,4	8,3	8,3	9,15	9	8,6	8,6	9	9,1	8,45	

Среднегодовые результаты химических анализов по каналам за 1963 г.

Анализ	Номер створа											Каракульдук				
	30	31	32	33	34	40	41	42	43	44	45					
												Джун				
Температура	11,1	11,3	11,7	12	12,4	12	12,8	14,1	14,1	14,2	14,3	14,4				
Взвешенные вещества	625,0	390,2	333,1	274,5	350,6	227,8	231,9	249,2	407	709,4	834,7	782				
Плотный остаток	244,4	279,15	239,9	267,5	267,6	287,6	384	485,6	628,5	584,2	551,7	583,8				
Общая жесткость	3,31	3,49	3,35	3,37	2,55	4,44	4,98	5,98	6,93	7,14	7,69	7,59				
Азот аммонийный	0,85	1,12	1,3	1,86	2,91	0,43	0,36	0,32	0,38	0,28	0,26	0,26				
Нитриты	0,027	0,046	0,096	0,072	0,072	0,067	0,11	0,106	0,11	0,039	0,066	0,042				
Нитраты	2,002	1,9	2,0	2,9	2,39	3,8	4,0	5,8	4,3	4,9	4,66	3,56				
Окисляемость	75,07	52,15	51,6	63,8	44,5	29,3	37,2	44	48,2	30,4	35,3	57,4				
Растворенный кислород	7,34	7,9	7,95	7,87	8,55	5,8	6,15	6,5	6,0	6,1	6,3	6,7				
Дефицит кислорода	30,3	24,5	24,2	24,3	18,1	44,4	40	35,86	39,2	41,1	36,5	32,6				
БПК-5	5,87	5,14	5,59	4,91	4,7	3,58	3,26	5,0	3,96	3,0	2,86	3,41				
pH	7,9	8,0	7,95	7,9	8,03	7,92	7,84	7,82	7,8	7,8	7,9	7,8				

По органолептическому показателю вредности определяли нормирование допустимых концентраций взвешенных веществ по формуле:

$$K_{\text{ст}} = \left(\frac{Qa}{q} + 1 \right) K_{\text{доп}} + K_p,$$

где $K_{\text{доп}}$ — допустимое увеличение содержания взвешенных веществ, (0,75 мг/л);

K_p — содержание взвесей в канале выше спуска сточных вод.

Результаты нормирования сбросов по компонентам (т/год), определенные для предприятий Янгиюля, приведены в табл. 2 (мг/л).

На основании проведенных исследований выявлена степень загрязненности водотоков Джуна и Каракульдука (табл. 3, 4) и разработаны рекомендации по их охране от загрязнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алекин О. А. В кн. «Основы гидрохимии», Л., 1953.
2. Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. Канализация промышленных предприятий, М., Госстройиздат, 1962.
3. Куреннова А. М., Селитренникова М. Б. Загрязнение и заражение открытых водоемов Узбекистана в результате сброса сточных вод. Тр. Узбекского НИИ санитарии и профзаболеваний, т. 1, 1959.
4. Лапшин М. И. В кн. «Разработка способов очистки сточных вод», М., Изд-во АН СССР, 1952.
5. Турчинович В. Т., Лапшин М. И. В кн. «Основы регулирования качества воды», М., 1960.

А. П. ОРЛОВА

ВОПРОСЫ ОХРАНЫ И ОЧИСТКИ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СРЕДНЕЙ АЗИИ

Вопросы охраны водных ресурсов зависят от источников водопотребления и сбросов сточных вод. Это комплексная проблема взаимосвязи развития промышленности, сельского хозяйства, их сбросов с наличием водных ресурсов.

Средняя Азия — один из значительных индустриальных районов страны, основная хлопковая база; сосредоточивает до 90% производства хлопка в СССР. Здесь развиты топливная, химическая, цветная, горнорудная, газовая, машиностроительная, металлообрабатывающая отрасли промышленности и многие другие.

Однако республики Средней Азии ограничены водными ресурсами, которые складываются в основном из стоков Амударьи и Сырдарьи.

Сток этих вод составляет в среднем $110 \text{ км}^3/\text{год}$, из них: бассейн Сырдарьи — $34 \text{ км}^3/\text{год}$, на орошение используется 29 км^3 (около 85%); бассейн Амударьи — $73 \text{ км}^3/\text{год}$, используется $51 \text{ км}^3/\text{год}$ (около 73%). Это водопотребление только на нужды земледелия.

Главные потребители воды: 1) орошаемое земледелие ($80 \text{ км}^3/\text{год}$) с коллекторными сбросами высокоминерализованных вод, насыщенных ядохимикатами, которые ежегодно вносятся в почву в виде удобрений, различных протрав и дефолиантов, 2) промышленные предприятия, имеющие до 80% сброса сточных вод от водопотребления.

Всего в Средней Азии насчитывается 79 городов и 213 поселков городского типа с потреблением $5,5 \text{ мл}^3/\text{год}$ и сбросом $3,17 \text{ мл}^3/\text{год}$.

Свыше 180 промышленных и хозяйственно-бытовых предприятий Ташкента сбрасывают сточные воды в водотоки города. Основной приемник стоков различных промышленных предприятий и городской канализации — канал Салар (около $4 \text{ м}^3/\text{сут}$ при расходе до $13 \text{ м}^3/\text{сут}$).

Большой объем неочищенных вод поступает в открытые водоемы Ташкента, Ангrena, Чирчика, Янгиюля и Андижана в Узбекистане; Фрунзе, Оша — в Киргизии; Душанбе, Ленинабада — в Таджикистане.

Сточные воды Туркменской ССР в основном поступают на поля фильтрации и поля орошения.

Существуют примеры загрязнения подземного потока. В Ангренском бассейне стоки свинцово-цинкового комбината загрязняют подземные воды цинком, свинцом, фенолами, аэрофлотом, пиридином, роданидами, цианидами. Зона загрязнения ежегодно возрастает и составляет свыше 7 км.

Хотя некоторая часть водотоков республик Средней Азии по качеству воды соответствует общим требованиям для источников централи-

зованного водоснабжения и относится к чистым рекам (Амударья, частично Сырдарья, Сурхандарья и Кашкадарья), однако реки и ирригационные каналы, расположенные в районах крупных промышленных центров, Чирчик-Ангренском в Узбекистане, Чуйском в Киргизии, Душанбинском и Ленинабадском в Таджикистане имеют очень загрязненные участки.

В Средней Азии грязные водотоки — реки Чирчик, Намангансай, Маргилансай, Кокандсай, канал Салар, Каракульдук, Джун, Карасу в Узбекистане; реки Исфара, Варзоб в районе Душанбе, Гиссарский канал в Таджикистане; Аллаарча и Аламедин, ниже города Фрунзе, Токташ и Новотроицкий в Киргизии.

При разработке генеральной схемы основными задачами в разделе охраны водных источников от загрязнения и истощения были: 1) оценка водных ресурсов, 2) характеристика существующего качества воды водотоков, 3) характеристика сточных вод, 4) характеристика водопотребления, его перспектива, 5) основные мероприятия по охране вод, 6) прогноз качества воды.

Все водотоки разбили на три категории: а) чистые и пригодные для рыбохозяйственного использования, водоснабжения и хозяйственно-бытовых целей, б) загрязненные, полупригодные для хозяйственно-бытового и технического использования, в) грязные, не пригодные к использованию.

Генсхема охватывает все основные проблемы по перспективному развитию народного хозяйства, использованию водных ресурсов и их охрану. В ее разработке приняли участие коллективы Гипроводхоза, Гидропроекта, Института санитарии, гигиены и профзаболеваний, Института энергетики, САНИИРИ.

При анализе степени загрязнения водотоков бассейнов Средней Азии определено следующее.

Сырдарья (рисунок) образована из рек Нарына (водотока первой категории) и Карадарьи (второй). До сброса Намангансая она относится к водотокам первой категории, а после притоков рек третьей категории (Намангансая, Шааримансая, Маргилансая и Кокандсая) превращается в водоток второй категории. Затем сток реки вследствие самоочищения улучшается; в пределах Таджикской ССР превращается в водоток первой категории. Далее на участках Ленинабадском и Беговатском, после промышленных и хозяйственно-бытовых сбросов, основная водная артерия Средней Азии превращается в водоток третьей категории, чему способствуют сбросы Узбекского металлургического комбината и Беговатского цементного завода. С участка канала имени Кирова (в пределах границ Узбекской ССР) Сырдарья — водоток второй категории.

К водотокам второй категории также относятся: река Чирчик на участке от Газалкента до Янгиюля, Ангрен от Ангрена до впадения в Сырдарью, Зарафшан от Самарканда до Каттакурганского водохранилища, каналы Бозсу и Бурджар в Ташкенте.

Река Амударья вторая многоводная артерия Средней Азии. Воду ее используют как для орошения, так для питьевого и промышленного водоснабжения. Она проходит по районам, где развита только рыбная промышленность. В бассейне реки промышленность в основном развита слабо, представлена хлопкозаводами, маслозаводами и предприятиями местной промышленности.

Промышленные сточные воды сбрасываются в ирригационную систему и в Амударью не поступают. Реку Амударью относят к водото-



Рис. 1. Схема загрязнения рек республик Средней Азии:

1 — реки первой категории (чистые) — пригодные для рыбохозяйственного использования, водоснабжения; 2 — реки второй категории (загрязненные — пригодные для хозяйственно-бытового и технического использования); 3 — реки третьей категории (грязные, не пригодные к использованию).

кам первой категории. Только у пристани Ходжейли река, загрязняясь водным транспортом, превращается на коротком участке в водоток второй категории.

В Таджикской ССР необходимо отметить очень грязные водотоки Исфара и Варзоб в районе Душанбе, а также Гиссарский канал. Водотоки второй категории — реки Вахш ниже города Кургантюбе и Кафирниган ниже Куляба.

В Киргизской ССР к водотокам третьей категории относятся Аламедин и Аллаарча ниже города Фрунзе, каналы Токташ и Ново-троицкий в Киргизии.

Водотоки второй категории — реки Чу ниже Токмака, Акбура ниже Оша, береговая линия озера Иссык-Куль в районе поселка Ананьево и пристаней Рыбачье, Тюп и Пржевальск и др.

В Туркменской ССР весьма загрязнена река Мургаб ниже Мары.

Сброс в водотоки неочищенных сточных вод наносит народному хозяйству республик Средней Азии ущерб. Вопросы ущерба не изучены и в настоящее время научно не определены. В республиках его оценивают по-разному.

В основном определение ущерба от загрязнения свелось к определению стоимости ценных продуктов, сбрасываемых со сточными водами, которые при извлечении и соответствующей очистке можно использовать в народном хозяйстве.

По предварительным подсчетам, во всех республиках Средней Азии со сбросами неочищенных сточных вод выносятся ценные продукты на сумму 1,4 млн. руб. в год, в том числе по Узбекистану — 1, Киргизии — 0,2, Таджикистану — 0,15, Туркмении — 0,05 млн. руб.

В связи с развитием промышленности, сельского хозяйства и градостроительства в 1970 г. резко увеличится объем сточных вод от населения и промышленности республик Средней Азии — до 3173 млн. м³ в год против современного 884 млн. м³ в год; из них в Узбекской ССР почти 70% стока, в Туркменской 21%, в Таджикской и Киргизской в среднем по 4% от суммарного стока.

Такое большое количество сточных вод без соответствующих мер по обезвреживанию приведет к большому загрязнению водоемов.

Определен прогноз качества воды для основных водотоков республик Средней Азии.

1. Река Сырдарья в створах в начале при слиянии рек Нарына и Карадарьи ниже Беговата и на границе с Казахстаном у кишлака Кокбулак.

2. Река Амударья на границе Таджикистана с Узбекистаном и ниже Термеза.

3. Река Зарафшан ниже Навои.

4. Река Чу на границе Киргизии и Казахстана.

5. Река Кафирниган в ее устье.

Установлено, что только механическая очистка стоков не эффективна, — водотоки сильно загрязняются и будут относиться к третьей категории.

В основных реках в большом количестве будут находиться БПК₅, фенолы, кислоты, цианиды, нефтепродукты. Повысится количество. В Амударье химически чистой БПК₅ в 9 раз превысит нормы, кислоты — в 25. В Сырдарье цианидов будет в 20 раз выше нормы, фенолов в 18—500, кислот в 38 и т. д.

Водотоки третьей категории превратятся в сточные коллекторы. Только при очистке сточных вод реки будут незначительно загрязнены.

Хотя небольшие количества загрязняющих веществ (порядка 10%) останутся в сточных водах и несколько снизят качество воды в реках, но резко не ухудшат их состояние. Например, водоток Зарафшана на участке Навои по проекту относится к первой категории при условии биологической очистки, хотя и она не дает стопроцентного эффекта. БПК по предварительным расчетам будет несколько выше. Водоток Зарафшан ниже города Навои при полной очистке сточных вод по степени загрязнения должен быть отнесен к водотокам второй категории, а не к первой по превышению содержания БПК в 8—10 раз.

Однако при полной очистке сточных вод большинство рек будет в сравнительно чистом состоянии с допустимым количеством загрязняющих веществ. Учитывая самоочищающие способности рек их можно будет отнести к водотокам первой категории.

Для оздоровления водоемов Средней Азии и для предотвращения дальнейшего загрязнения их необходимо следующее:

- 1) построить канализацию в Ташкенте, Чирчике, Ангрене, Алмалыке, Ахангаране, Янгиюле, Андижане, Фергане, Ленинске, Беговате, Фрунзе, Оше, Ашхабаде.

Кроме того, для предотвращения загрязнения реки Сырдарьи сточными водами, попадающими с территории Таджикской и Киргизской ССР, необходимо построить канализацию в Ленинабаде (ТаджССР), Ургенче и Карасу (КиргССР).

В поселках городского типа также необходимо создать канализационные и очистные сооружения;

- 2) не допускать сброса неочищенных стоков джуто-кенафных заводов в реки Узбекистана;

- 3) обезвредить сточные воды пристани Ходжейли, которые сбрасываются в Амударью;

- 4) по Ферганскому каналу упорядочить водопой и выпас, организовать зоны санитарной охраны;

- 5) использовать промышленные стоки по оборотной схеме.

На водосборе необходимо провести охранные мероприятия от эрозийной деятельности и воздействия паводковых и селевых потоков.

1. Закрепить пески и другие песчаные породы посадкой саксаула на площади 451 тыс. га.

2. Провести лесопосадки в горных районах на площади 451 тыс. га.

3. Посадить сады и виноградники на склонах гор по террасам на площади 53,4 тыс. га.

4. Насадить леса вдоль каналов и по берегам водохранилищ на площади 16,6 тыс. га.

Все эти мероприятия, безусловно, улучшат качество воды в водоемах. При полной очистке водотоков в республиках Средней Азии к 1970 г. дополнительно будет утилизировано ценных веществ, задержанных очистными сооружениями: меди — 1854 т, цинка — 774 т, никеля — 46 т, свинца — 298 т, хрома — 936 т, железа — 1805 т и др. Стоимость всех этих веществ — 8,7 млн. руб. Полная очистка сточных вод необходима для создания водоемов, пригодных не только для питьевого водоснабжения и рыбного хозяйства, но и для водоснабжения промышленности, а также для ирригации. Сократится заболеваемость населения, использующего некоторые водоемы как источники водоснабжения и место отдыха.

Охрана вод — очень сложная проблема регулирования качества воды.

Основные вопросы научных исследований: изучение путей возможного загрязнения как поверхностных, так и подземных водных ресурсов (основываясь на результатах последних совещаний); определение неблагоприятного воздействия ядохимикатов на водоисточники, в том числе на подземные воды, выявление степени стабильности и миграции в подземных водах некоторых ядохимикатов, применяемых в хлопководстве; определение характеристик качества воды и оценки загрязнения водотоков; изучение вопросов динамики формирования качества воды в водоемах — процессы смешения, разбавления и самоочищения; определение качества воды в водоемах и разработка методики его регулирования; разработка рекомендации по очистке и охране водных ресурсов.

Необходимо исследовать методы очистки сточных вод на полях орошения под сельскохозяйственные культуры Средней Азии и прежде всего под хлопок; разработать технологическое обоснование эффективной очистки стоков на основе определения ущерба от загрязнений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Генеральная схема комплексного использования и охраны водных ресурсов Узбекской, Киргизской, Таджикской и Туркменской ССР, УЗИНТИ, Ташкент, 1965.
2. Гурвич Л. С. К итогам изучения санитарного состояния водоемов РСФСР и основные задачи дальнейшей научно-практической работы, «Гигиена и санитария», 1962, № 11.
3. Жуков А. И. Инженерные мероприятия по уменьшению загрязнения водоемов, Водоснабжение и санитарная техника, 1962, № 4.
4. Жуков А. И. К вопросу защиты водоемов от загрязнения, «Гигиена и санитария», 1957, № 6.
5. Иванов Б. И. Пути обеспечения очистки промышленных сточных вод, «Гигиена и санитария», 1962, № 4.
6. Куренова А. М., Селитринникова М. Б. Загрязнение и заражение открытых водоемов Узбекистана в результате сброса сточных вод, Труды НИИСГИТИ, Ташкент, 1959.
7. Орлова А. П. О перспективе развития водоснабжения в Узбекской ССР и мероприятия по охране некоторых водотоков, «Вопросы гидротехники», вып. 14, Ташкент, 1963.
8. Орлова А. П. Водохозяйственный баланс и мероприятия по охране водоемов в Узбекской ССР, Шестое всесоюзное совещание по охране природы, Минск, 1965.
9. Турчинович В. Т., Лапшин М. И. В кн. «Основы регулирования качества воды», М., 1960.
10. Черкинский С. Н. В кн.: «Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы», М., 1962.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
В. П. Светицкий. Водохозяйственный баланс Средней Азии и задачи дальнейших исследований	3
Ф. Э. Рубинова. Распределение атмосферных осадков по территории Ферганской долины	12
Ф. Э. Рубинова. К вопросу о введении систематических поправок в показания осадкомеров	19
Ф. Э. Рубинова, М. Д. Лазарева. К вопросу о введении поправок на испарение из осадкомерного ведра	31
Б. Е. Милькис, А. С. Зайцев. Соотношение между температурой воды и воздуха и вопросы расчета испарения с малых водоемов	36
Б. Е. Милькис. Номограмма для перевода влажности воздуха из мм или мб в г/м ³ при различной температуре воздуха	42
А. С. Зайцев. Некоторые вопросы применения метода теплового баланса при расчетах испарения из русла Амударьи	45
Л. Н. Побережский. Исследование нейтронного метода определения влажности почв, грунтов и стройматериалов в применении к воднобалансовым расчетам	50
М. И. Геткер. Закономерности распределения и расчет осадков в бассейне Амударьи	57
Б. Е. Милькис, Г. А. Ахмедов. Величина суммарного испарения с хлопкового поля на землях нового освоения Центральной Ферганы	75
А. П. Орлова, О. С. Дунин-Барковская, Э. В. Шарер. К вопросу о загрязнении подруслового потока в бассейне Ахангарана	83
А. П. Орлова, О. С. Дермоян. Степень загрязнения водотоков Джуна и Каракульдука и некоторые рекомендации по их охране	90
А. П. Орлова. Вопросы охраны и очистки от загрязнения водных источников Средней Азии	100

Коллектив

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ
Вып. 33.

Редакторы Л. Спичкина, И. Бутко

Технический редактор З. П. Горьковая

Корректор С. Адайкина

Сдано в набор 16/I 1967 г.

Подписано к печати 14/XI 1967 г.

Р 10950. Формат $70 \times 108^{1/16} = 3,37$ бум. л.

Печ. л. 6,75

Изд. л. 8,5

Изд. № 313

Заказ № 518

Тираж 650

Цена 68 коп.

Типография Изд-ва МГУ. Москва, Ленинские горы