

В. Е. Водогрецкий, О. И. Крестовский

ЗАДАЧИ, ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

No 1342

ТАШКЕНТ



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ • ЛЕНИНГРАД • 1975

(Итого)
 Цена
 ЛБС

№ заказа

ЛИТОГЕН-ЗАКАЗЧИКА

/ от

ПОЧТОВЫЕ КИЛЕК, АДРЕС

ЗАКАЗЧИК (КНИГИ, БРОШЮРЫ, ЖУРНАЛЫ И ДР.)

Ответственный редактор К. П. Воскресенский

В книге рассматриваются вопросы организации и методики экспедиционных воднобалансовых исследований в равнинных районах, даются примеры составления программ исследований и решения некоторых практических задач.

Книга является первым обобщением опыта экспедиционных воднобалансовых исследований; рассчитана на широкий круг специалистов, занимающихся полевыми гидрологическими работами, и может быть полезна для преподавателей и студентов вузов гидрометеорологического профиля.

This book deals with the problems of organization and methods of expeditional water balance research in plain areas. The solution of some practical problems and the examples of preparation the research programmes are given here as well.

The book, being the first generalization of the experience of expeditional water balance research, is intended for different specialists, engaged in field hydrology and may be of interest for teachers and students of Hydrometeorological Institutes.

Валентин Евтихьевич Водогрецкий
Олег Игоревич Крестовский

ВОДНОБАЛАНСОВЫЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Редактор О. Н. Потапова. Обложка Ю. И. Дышленко. Худ. редактор В. А. Баканов.
Техн. редактор М. И. Брайнина. Корректор Л. А. Сандлер.

Сдано в набор 7/VIII 1975 г. Подписано к печати 5/XI 1975 г. М-17365. Формат 60×90^{1/16}.
Бум. тип. № 1. Печ. л. 9. Уч.-изд. л. 9,71. Тираж 2000 экз. Индекс ГЛ-122. Заказ № 425.
Цена 70 коп. Гидрометеониздат. 199053. Ленинград, 2-я линия, д. 23. Ленинградская
типография № 8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров
СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
190000, Ленинград, Прачечный пер., 6.

В 20806-202
069(02)-75 48-76

© Гидрометеониздат, 1975 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие народного хозяйства и экономическое освоение новых районов вызывает расширение масштаба водохозяйственного строительства и необходимость оценки возможного влияния хозяйственной деятельности человека на естественный водный режим территории. Это предъявляет новые требования к количественной оценке водных ресурсов и изучению особенностей их формирования и режима. Без знаний естественной величины стока и вероятных его изменений в будущем невозможно подойти к рациональной эксплуатации вод, намеченной в Генеральной схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР.

В настоящее время изучение водных ресурсов основывается на воднобалансовых исследованиях, которые приобретают в нашей стране все больший размах. Как было отмечено на IV Всесоюзном гидрологическом съезде, «в гидрологии происходит переход от изолированного изучения закономерностей процессов формирования стока, опирающегося в основном на гидрометрические данные, к изучению гидрологического цикла во всех его звеньях, к изучению сложной взаимосвязи элементов водного баланса, к выявлению влияния естественных и антропогенных факторов на состояние и режим поверхностных и подземных вод» [26].

При проведении воднобалансовых исследований определяются все виды поверхностных, почвенных и подземных вод, их приходные и расходные части и количественные соотношения в разные периоды года.

Стационарные воднобалансовые исследования производятся на небольших водосборах и склонах 16 воднобалансовых (в прошлом стоковых) станций, расположенных весьма неравномерно на территории СССР, но охватывающих все природные зоны. Работа станций регламентируется специальными руководствами [72, 80] и программами исследований. Подробные сведения о воднобалансовых (стоковых) станциях даны в книге В. И. Корзуна [25]. Кроме того, проводятся специальные исследования

водного баланса на 60 воднобалансовых участках под сельскохозяйственными угодьями [26]. Эти исследования организованы на базе опорных станций Гидрометслужбы в 1966—1968 гг. и выполняются по специальному руководству [48] и пособиям [37, 39].

В стадии организации находятся воднобалансовые исследования на 15 парных (поле—лес) небольших водосборах, работающих по программе Международного гидрологического десятилетия, расположенных в различных районах лесной зоны Европейской территории СССР.

Стационарные воднобалансовые исследования проводятся также различными учреждениями и ведомствами на сравнительно небольших участках и водосборах — «стационарах».

Кроме того, на основании обобщения данных наблюдений сети станций и постов Гидрометслужбы СССР выполняются расчеты текущих водных балансов за различные интервалы времени на 250 речных бассейнах опорной сети. Эти воднобалансовые расчеты выполняются в соответствии с Методическими указаниями Гидрометслужбы [50, 52] и специальными пособиями [37, 38, 40]. Однако стационарная воднобалансовая сеть явно недостаточна для решения различных практических задач на данной основе. Очень часто возникает необходимость в проведении экспедиционных воднобалансовых исследований, позволяющих в относительно короткий срок получить необходимую информацию, которая существенно дополняет материалы, поступающие со стационарной сети.

Экспедиционные воднобалансовые исследования проводятся учреждениями Гидрометслужбы, в том числе Государственным гидрологическим институтом (ГГИ), а также другими ведомствами. Несмотря на различия в задачах исследования, все они имеют много общего в организации и производстве наблюдений.

К настоящему времени появилась необходимость в обобщении опыта организации и проведения комплексных воднобалансовых экспедиционных исследований. Для этой цели авторы использовали в основном опыт ГГИ.

Книга не охватывает всех вопросов, решаемых на основе воднобалансовых исследований, а дает лишь общее представление по организации изучения водного баланса для решения некоторых практических задач. Она знакомит читателей с постановкой комплексных гидрологических исследований и иллюстрирована конкретными примерами.

Авторы благодарны заслуженному деятелю науки и техники РСФСР, профессору Государственного гидрологического института К. П. Воскресенскому и доценту кафедры водных исследований Ленинградского гидрометеорологического института С. И. Дмитриеву, давшим ряд ценных советов и замечаний при рецензировании и научном редактировании рукописи.

ЗАДАЧИ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, УРАВНЕНИЯ ВОДНОГО БАЛАНСА

1.1. Общие положения

Воднобалансовые экспедиционные исследования наиболее эффективны в районах с густой сетью пунктов наблюдений Гидрометслужбы СССР, где результаты этих исследований увязываются с длительными рядами наблюдений за гидрометеорологическим режимом изучаемой территории. В районах с редкой гидрометеорологической сетью приходится создавать временную стационарную сеть и увеличивать период исследований. Поэтому следует иметь в виду, что «хотя экспедиционные исследования являются весьма эффективным средством сравнительно быстрого получения разнообразных гидрологических данных, они не могут, разумеется, заменить опорную сеть, непрерывные многолетние наблюдения» [26]. Однако воднобалансовые экспедиционные исследования обычно позволяют выяснить ряд вопросов, которые не раскрываются обычными стандартными наблюдениями на опорной сети. В частности это относится к проблеме оценки изменений водного режима, водного баланса и влагооборота под влиянием хозяйственной деятельности человека, а также к проблемам усовершенствования методики долгосрочных прогнозов водности рек.

Экспедиционные воднобалансовые исследования обычно охватывают значительную по площади территорию, тогда как при стационарных воднобалансовых наблюдениях исследуется лишь незначительный район, в пределах которого располагаются небольшие водосборы, стоковые и испарительные площадки, метеостанция, скважины по наблюдению за режимом грунтовых вод и т. п. Примером стационарных исследований являются воднобалансовые станции, а также воднобалансовые участки на сельскохозяйственных полях опорной, комплексной сети станций. Стационарные воднобалансовые наблюдения выполняются в течение длительного ряда лет, а экспедиционные исследования проводятся в течение нескольких лет.

При расчетах водных балансов производится критический анализ исходных данных по элементам баланса и результатов расчета с увязкой отдельных, в основном трудноизмеримых,

элементов. Это позволит определить и устранить возможные ошибки измерений некоторых элементов и оценить достоверность получаемых выводов по водному режиму объектов.

Для расчета и анализа водного баланса все его элементы вычисляются в единой системе измерений — в миллиметрах слоя воды по отношению к площади объекта или в объемных единицах (м^3 , км^3).

1.2. Задачи воднобалансовых экспедиционных исследований

Ниже перечисляются наиболее актуальные задачи, эффективное решение которых возможно лишь на основе воднобалансовых исследований.

1. Изучение естественного водного режима территорий и отдельных типов ландшафтов в их пределах с последующим использованием результатов для усовершенствования методики расчетов и прогнозов различных характеристик речного стока в целях обеспечения строительного проектирования и текущего планирования работы гидротехнических сооружений.

Примером таких исследований являются многолетние экспедиционные работы ГГИ в районах освоения целинных и залежных земель Казахстана по оценке водных ресурсов и режима почвенно-грунтовых вод; работы ГГИ в заболоченных районах Западной Сибири в связи с освоением газонефтеносных их запасов; исследования условий формирования стока весеннего половодья и трансформации его гидрографа под влиянием ландшафтных характеристик различных водосборов и русловых емкостей в бассейне р. Шелони (северо-западный район ЕТС); исследования водопоглотительной способности водосборов и формирования потерь весенних вод в бассейнах рек Дона и Вятки для целей усовершенствования долгосрочных прогнозов объема весеннего стока.

2. Оценка изменений водного режима, водного баланса, влагооборота и качества речных и подземных вод под влиянием хозяйственной деятельности человека.

В качестве примера можно отметить следующие вопросы, выяснение которых имеет как самостоятельное, так и общее значение для решения указанной проблемы в целом:

а) оценка изменений поверхностного и подземного стока рек и качества вод в связи с проведением следующих агролесомелиоративных мероприятий: совершенствование агротехнических приемов обработки почв для накопления влаги и уменьшения эрозии почв; изменение структуры севооборота, агротехники и селекции сельскохозяйственных культур; интенсификация вносимых удобрений на сельскохозяйственные угодья; создание лесных полос и колков; обвалование оврагов; интенсификация забора подземных вод на водоснабжение и орошение; создание прудов и лима-

нов в тальвегах оврагов, балок ручьев и малых рек для использования вод местного стока на водоснабжение и орошение; вырубка и насаждение лесов; орошение, обводнение и осушение сельскохозяйственных угодий и лесов и т. п.;

б) оценка изменений влагооборота в верхней почвенно-грунтовой толще и ее солевого состава под влиянием перечисленных выше агролесомелиоративных мероприятий;

в) оценка изменений речного стока и влагооборота почвогрунтов зоны аэрации в связи с крупными промышленными водозаборами артезианских вод;

г) оценка изменений речного стока, качества вод и увлажненности территорий в связи с созданием и эксплуатацией каскада крупных водохранилищ, а также в связи с межбассейновыми перебросками вод;

д) оценка количества и качества поступающих в реки «возвратных» вод после промышленного, сельскохозяйственного и коммунального их использования.

Решение перечисленных частных вопросов общей проблемы возможно лишь на основе использования данных продолжительных наблюдений на пунктах стационарной сети и результатов экспедиционных воднобалансовых исследований. Наиболее рациональным является создание в период работы экспедиции сети пунктов комплексных наблюдений на характерных для данного географического района объектах с передачей пунктов этой сети соответствующим учреждениям и ведомствам для дальнейшего производства многолетних воднобалансовых наблюдений.

3. Изучение водно-солевого баланса корнеобитаемого слоя почв орошаемых и осушаемых земель для научного обоснования режима орошения и оптимальных норм полива, расчета осушения и регулирования водного режима осушенных земель.

Такие исследования в настоящее время проводятся ГГИ и учреждениями Министерства мелиорации и водного хозяйства в различных районах страны.

4. Исследования воднохозяйственных русловых балансов рек на участках с интенсивным водозабором на орошение полей для определения современных изменений водности рек и возможных их изменений в будущем.

Примером таких исследований, в частности, являются работы, выполняемые ГГИ, Гидропроектом, Институтом водных проблем АН СССР и другими организациями на реках Амударья, Сырдарья, Чу, Талас и других объектах.

5. Исследование водного, термического и солевого балансов крупных озер и водохранилищ, включая их подземные емкости, а также территорий, подлежащих затоплению будущими водохранилищами.

Такие исследования проводились при создании Рыбинского, Цимлянского и других водохранилищ на специально организованных для этих целей озерных станциях и гидрометеорологических

обсерваториях. В настоящее время экспедиционным и стационарным методами изучается оз. Байкал в связи с промышленным освоением территории, расположенной в пределах его водосбора.

6. Оценка взаимосвязи поверхностных и подземных вод с целью определения величин питания подземных и артезианских вод в местах их интенсивного промышленного водозабора.

К числу наиболее крупных исследований этого направления относятся экспедиционные работы ГГИ в районе железнорудного района Курской магнитной аномалии и Московского артезианского бассейна.

7. Исследование новых методов измерений элементов водного баланса, включая обоснование необходимой густоты пунктов наблюдений и существующих методов измерений.

К таким работам относятся многолетние экспедиционные исследования ГГИ по наземному обоснованию самолетной гамма-съемки снежного покрова, проводившиеся в Северном Казахстане, в северо-западном (бассейны рек Шелони и Сороти) и центральных районах ЕТС, включая бассейн р. Дона.

1.3. Уравнения водного баланса

Соотношение приходных и расходных элементов водного баланса выражается его уравнением. В зависимости от поставленных задач воднобалансовые исследования производятся на различных по размерам и сложности объектах: водосборах, отдельных участках местности и угодьях, водохранилищах и озерах. Расчеты водных балансов и анализ соотношений их элементов выполняются за календарные и генетически однородные интервалы времени.

В качестве календарных интервалов принимаются декада, месяц, сезоны (зима, весна, лето, осень), слагающиеся из целых месяцев, год (календарный и гидрологический), включающий четыре сезона.

Генетически однородными интервалами времени являются фазы гидрологического режима (весеннее половодье в целом, либо периоды его подъема и спада, дождевые паводки, межень); сезоны (зима, весна, лето, осень) и гидрологический год, продолжительность которого переменна и определяется началом накопления влаги в бассейне и концом ее сработки (истощения).

Водные балансы, рассчитанные за календарные периоды, позволяют проследить изменение величин элементов водного баланса и их соотношения в разные месяцы и сезоны и определить различия в сезонных и годовых водных балансах водосборов (участков), имеющих неодинаковые физико-географические условия.

Водные балансы за генетически однородные периоды необходимы для исследования процессов формирования водного режима изучаемых объектов и установления доли участия отдельных элементов баланса в водном режиме объекта.

Полное уравнение водного баланса водосбора за любой интервал времени имеет следующий вид¹:

$$X + K + \beta + \eta = Y + E + \gamma + \varepsilon + \Delta X_a + \Delta X'_a + \Delta X''_a + \Delta V_p + \Delta V_{\text{пон}} + \Delta W + \Delta U, \quad (1)$$

где X — осадки, выпавшие на поверхности водосбора; K — конденсация водяных паров на поверхности водосбора; $\beta = \beta_{\text{п}} + \beta_{\text{г}}$ — вода, поступившая на водосбор поверхностным путем $\beta_{\text{п}}$ из соседних водосборов, в том числе и за счет переброски вод на хозяйственные нужды, а также вода, поступившая в бассейн подземным путем из водоносных горизонтов $\beta_{\text{г}}$, область питания которых расположена вне изучаемого водосбора (глубокие водоносные пласты, вскрываемые руслом и долиной реки, и артезианские напорные воды);

η — поступление на водосбор или в реку «возвратных» вод, т. е. части воды, изъятая ранее на хозяйственные потребности (водоснабжение, орошение и др.);

элементы X , K , β , η — представляют всегда приходную часть водного баланса водосбора;

$Y = Y_{\text{п}} + Y_{\text{г}}$ — суммарный сток с водосбора, поступивший в русловую сеть поверхностным $Y_{\text{п}}$ и подземным $Y_{\text{г}}$ путем; E — суммарное испарение влаги с водосбора — с различных его поверхностей (сельскохозяйственные культуры, древесная растительность, поймы рек, болота, водоемы и др.), включая испарение влаги, образовавшейся за счет конденсации водяных паров²;

γ — забор воды из реки и с водосбора на хозяйственные нужды (водоснабжение, орошение, переброска воды в соседние водосборы, отвод воды с водосбора при осушении и др.);

ε — подземный отток воды с водосбора (отток грунтовых вод из верхних водоносных горизонтов за пределы водосбора из-за

¹ Приводимые здесь символические обозначения элементов баланса имеют наибольшее распространение в современной отечественной литературе. Следует указать, однако, на имеющееся международное обозначение этих элементов [50].

² Если конденсация водяных паров не измеряется, то испарение, получаемое с помощью испарителей, является заниженным, так как дождемеры при испарителях не улавливают конденсацию влаги. Однако при использовании испарителей уравнение баланса влаги не нарушается, поскольку конденсация не учитывается и в приходной части уравнения баланса. Величина конденсации обычно незначительна. Но в некоторые периоды года в отдельных районах конденсация может достигать сравнительно больших величин, поэтому недоучет ее будет занижать испарение, что может привести к неправильным выводам о соотношениях элементов водного баланса и по влагообеспеченности изучаемого района.

несовпадения поверхностного и подземного водоразделов, глубокое просачивание воды в водоносные пласты, не дренируемые русловой сетью изучаемого водосбора, подрусловой сток, не измеряемый на гидростворе);

элементы Y , E , γ , ε — представляют всегда расходную часть водного баланса водосбора.

Элементы уравнения водного баланса, перед которыми стоит символ Δ , представляют изменение соответствующих запасов воды за расчетный интервал времени, поэтому в одни периоды они могут составлять расходную часть водного баланса (когда влага на водосборе накапливается), а в другие периоды — приходную часть (когда расходуется накопленная ранее влага); величина изменения запаса воды для каждого такого элемента определяется разностью между его величинами на дату конца и начала расчетного интервала времени, при этом знак плюс означает увеличение запаса, а знак минус — убыль его¹.

ΔX_a — суммарное изменение запасов воды в снежном покрове, в ледяной корке на поверхности почвы;

$\Delta X'_a$ — изменение запасов воды в озерах, прудах и водохранилищах;

$\Delta X''_a$ — изменение запасов воды и льда в болотах и на заболоченных участках водосбора;

ΔV_p — изменение запасов воды в русловой и овражно-балочной сети водосбора (может достигать существенных величин в периоды формирования стока весеннего половодья и дождей паводков);

$\Delta V_{\text{пон}}$ — изменение запасов воды в понижениях поверхности водосбора (лужи и временные скопления воды в бессточных понижениях); $\Delta W = \Delta W_1 + \Delta W_2$ — изменение запасов воды во всей толще почв и грунтов зоны аэрации, включающее изменения в верхнем наиболее активном ее слое ΔW_1 и нижележащих слоях грунта ΔW_2 ; $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2$ — суммарное изменение запасов подземных вод во всех водоносных пластах водосбора (ΔU_1 — верхний водоносный горизонт и нижележащие горизонты ΔU_2).

В зависимости от физико-географического района, в котором проводятся исследования, от гидрогеологического строения водосбора и других его особенностей, а также от величины и вида хозяйственного использования вод и поверхности водосбора, исключаются из уравнения водного баланса те или иные его элементы, а вид уравнения значительно упрощается. В частном случае, когда бассейн является замкнутым, т. е. дренирует все грунтовые воды, область питания которых совпадает с контуром водосбора, напорные грунтовые воды не разгружаются, хозяйственных мероприятий не производится, отсутствуют пруды, озера

и болота, конденсация водяных паров ничтожно мала, уравнение водного баланса имеет наиболее простой вид

$$X = Y + E + \Delta X_a + \Delta V_p + \Delta V_{\text{пон}} + \Delta W + \Delta U. \quad (2)$$

Кроме того, в отдельные периоды года (например летом) элементы ΔX_a , ΔV_p и $\Delta V_{\text{пон}}$ могут отсутствовать.

Для отдельного безруслового участка водосбора — склона или сельскохозяйственного поля (неорошаемого и неосушаемого) — полное уравнение водного баланса имеет вид

$$X + K = Y_{\text{п}} + \Delta Y_{\text{г}} + E + \Delta X_a + \Delta V_{\text{пон}} + \Delta W + \Delta U, \quad (3)$$

где $\Delta Y_{\text{г}}$ — разность между оттоком грунтовых вод с изучаемого участка и их притоком к участку.

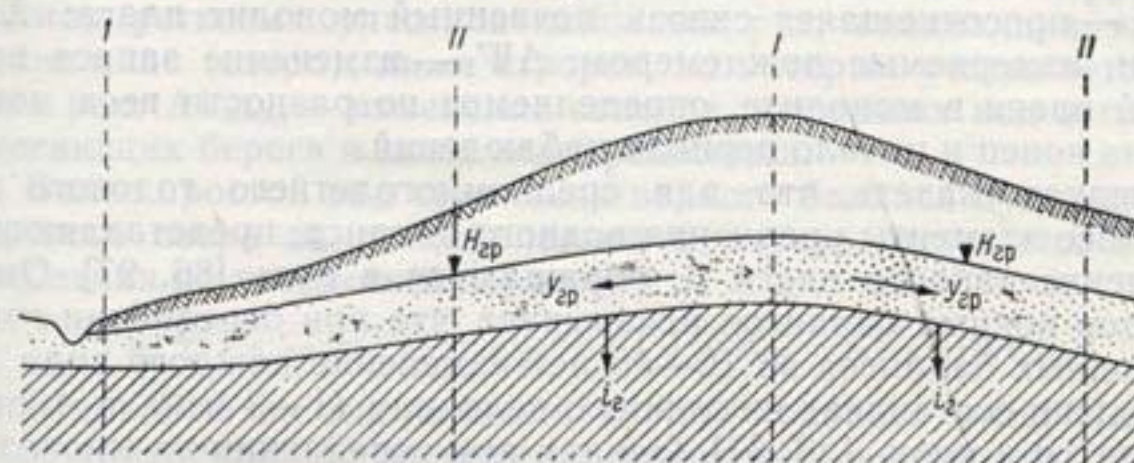


Рис. 1. Участок местности, в пределах которого происходит формирование и разгрузка грунтовых вод.

I—I и II—II — возможные границы воднобалансового участка.

На некоторых участках (полях) грунтовые воды формируются только в пределах изучаемой площади и поэтому форма поверхности водного зеркала получается в виде купола (рис. 1). В этом случае наблюдается только отток грунтовых вод с участка $Y_{\text{г}}$ и просачивание влаги $i_{\text{г}}$ из верхнего водоносного пласта в нижние горизонты. В отдельные периоды года суммарный расход грунтовых вод ($Y_{\text{г}} + i_{\text{г}}$) может быть равным величине убыли запасов грунтовых вод (ΔU). (Такие участки из-за отсутствия притока грунтовых вод к ним наиболее просты для организации изучения водного баланса.)

Для участков (полей), где грунтовые воды залегают сравнительно глубоко (более 10 м) и поэтому не участвуют во влагообороте верхней зоны аэрации, уравнение водного баланса имеет вид

$$X + K = Y_{\text{п}} + E + \Delta X_a + \Delta V_{\text{пон}} + \Delta W_1 + i, \quad (4)$$

где i — величина просочившейся воды из верхней, активной зоны аэрации в нижележащие слои грунта (или до уровня грунтовых вод).

¹ В символических уравнениях водного баланса знак плюс перед элементами, имеющими символ Δ , обозначает их алгебраическую сумму.

В сухие, теплые периоды года, когда осадки расходуются только на пополнение запасов влаги в верхнем слое почво-грунтов и поверхностный сток, а конденсация водяных паров ничтожно мала, уравнение водного баланса для такого участка принимает вид

$$X = Y_n + E + \Delta W_1, \quad (5)$$

а при отсутствии поверхностного стока уравнение баланса влаги становится еще более простым.

Отметим, что уравнение (5) используется для расчета испарения по почвенным испарителям в виде

$$E = X + \Delta W_1 - Y_i, \quad (6)$$

где Y_i — просочившаяся сквозь почвенный монолит влага; X — осадки, измеряемые дождемером; ΔW_1 — изменение запаса почвенной влаги в монолите, определяемое по разности веса монолита на конец и начало периода наблюдений.

Следует указать, что для среднесногодового годового периода все элементы уравнения водного баланса, представляющие изменение запасов влаги Δ , обращаются в нуль [86, 97]. Опыт расчетов водных балансов показывает, что при осреднении годовых водных балансов за 10—15 лет изменение каждого вида запаса влаги составляет ничтожную величину (1—3 мм), т. е. приближается к нулю [28, 37]. Однако при осреднении за многолетний период элементов баланса для сезонных периодов величины изменений запасов влаги приближаются к их норме (например, норма увлажнения почво-грунтов ΔW за осенний период; норма сработки запасов воды в водохранилищах $\Delta X'_a$ за летний период; норма накопления запасов воды в снежном покрове ΔX_a за зиму и т. п.).

Уравнение водного баланса любого водохранилища (или проточного озера) составляется относительно площади зеркала водоема [81] и имеет следующий общий вид:

$$V_{пр} + V_{б. пр} + V_{ос} + V_{гр} + V_{пр. хоз} + V_{лед} = V_{ст} + V_{вз} + V_n + V_{ф} + V'_{лед} + \Delta V_{оз} + \Delta V_p + \Delta V_{подз}, \quad (7)$$

где все слагаемые выражены в объемах воды, м³; $V_{пр}$ — приток в водохранилище (озеро) по основным рекам; $V_{б. пр}$ — боковая приточность по малым рекам и со склонов водохранилища; $V_{ос}$ — осадки, выпадающие в жидком и твердом виде на зеркало водоема; $V_{гр}$ — приток подземных вод, поступающих в водохранилище (озеро) через его ложе; $V_{пр. хоз}$ — приток (сброс) в водохранилище вод, использованных в хозяйственных целях (через ГЭС, плотины, судоходные шлюзы, коллекторы оросительных систем и т. д.), исключая поступление через сооружения на основных притоках, который учитывается компонентом $V_{пр}$; $V_{лед}$ — объем воды во льду и покрывающем его снеге, осевшем зимой

на берегах водохранилища (озера) и всплывшем весной при подъеме уровня или растаявшем на берегах; $V_{ст}$ — сток через сооружения замыкающего гидроузла (или сток реки, вытекающей из озера); $V_{вз}$ — забор воды из водохранилища на хозяйственные нужды (орошение, водоснабжение, переброска воды в другие бассейны и др.); V_n — потери воды на испарение с зеркала водохранилища с учетом площадей, занятых водной растительностью, с подтопленных и обсыхающих берегов; $V_{ф}$ — фильтрация воды через борта и ложе с отводом воды за пределы водосбора водохранилища; $V'_{лед}$ — объем воды во льду и снеге, осевших на берегах при зимней сработке водохранилища; $\Delta V_{оз}$ — изменение (наполнение, сработка) запаса воды в водохранилище (озере); ΔV_p — изменение запасов воды в руслах и поймах устьевых участков основных рек, впадающих в водохранилище (озеро), ниже створов, на которых учитывается сток этих рек; $\Delta V_{подз}$ — изменение запасов подземных вод в грунтах, слагающих берега и ложе водохранилища.

Более простой вид уравнения водного баланса будет для бессточного озера за летний период в случае отсутствия водопотребления на хозяйственные нужды

$$V_{пр} + V_{б. пр} + V_{ос} + V_{гр} = V_n + \Delta V_{оз} + \Delta V_p + \Delta V_{подз}. \quad (8)$$

В среднем за многолетний период годового интервала времени уравнение (8) принимает наиболее простой вид: суммарный приток воды в озеро равен суммарному испарению.

Отметим, что для водосбора реки с замкнутым бассейном уравнение водного баланса для годового интервала времени за средний многолетний период складывается из трех компонентов: суммарный приход влаги (осадки) равен стоку реки и суммарному испарению с поверхности водосбора.

Расчетные уравнения водного баланса, используемые в практической работе, отличаются от генетических уравнений (1) — (8) наличием в их правой части дополнительного члена P , выражающего невязку водного баланса. Невязка получается как остаточный член уравнения и включает в себя все виды погрешности измерений и осреднения элементов по площади водосбора, а также величины неизмеренных элементов и неучтенных изменений запасов воды. При полном учете всех элементов водного баланса величина P будет отражать среднюю погрешность расчета баланса

$$P = \sqrt{\delta X^2 + \delta Y^2 + \delta E^2 + \dots + \delta \Delta U^2}, \quad (9)$$

где δX^2 , δY^2 и т. д. — величины погрешностей отдельных элементов водного баланса.

Погрешность расчета P сезонных и годовых водных балансов непостоянна по величине и знаку. Она будет тем меньше, чем более детально и обоснованно измерены и осреднены по площади отдельные элементы водного баланса. Опыт расчета водных

балансов водосборов при детальных исследованиях показывает [28, 40], что в 68% случаев величины невязок балансов в зоне избыточного увлажнения колеблются от нуля до ± 35 мм (в среднем 15 мм) и не зависят от продолжительности расчетного периода. Следует отметить тенденцию некоторого увеличения величин невязок водных балансов с уменьшением площади водосбора [26, 29], что, по-видимому, связано с неточностью осреднения элементов баланса для сравнительно небольших водосборов. Однако, если этот объект детально изучен, то невязки водных балансов в 68% случаев обычно не превышают ± 20 мм.

Если при измерениях и расчетах всех элементов баланса отсутствуют систематические ошибки, то при осреднении за многолетний период однотипных сезонных и годовых водных балансов невязка расчета P равна нулю. Исходя из этого положения, можно с большой степенью достоверности определять неизмеряемые величины элементов баланса (например, испарение с леса или подземный водообмен); величина неизмеряемых элементов будет равна невязке водного баланса.

В настоящей главе не рассматривались уравнения водного баланса применительно к расчету какого-либо искомого элемента для конкретных объектов. Они получаются из уравнений (1) — (8), что будет показано на конкретных примерах в главе 4. Кроме того, для ознакомления с практическим использованием уравнений водного баланса для различных целей можно рекомендовать книгу А. Г. Булавко [1].

Каждый элемент водного баланса, кроме стока, вычисляется как средняя арифметическая или средняя взвешенная величина, учитывающая разнообразие основных ландшафтных характеристик водосбора, включая различия в высоте местности и экспозиции склонов.

Средняя арифметическая величина $\bar{X}$ рассчитывается как частное от деления суммы измеренных величин $\sum_{i=1}^n X_i$ в пунктах на число пунктов n

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}. \quad (10)$$

Вычисление средней арифметической величины допустимо только при сравнительно равномерном (равноудаленном) распределении пунктов наблюдений на водосборе (участке). При неравномерном распределении пунктов наблюдений, а также для расчета водного баланса водосбора с учетом его ландшафтных особенностей и для анализа соотношений элементов баланса вычисляются средние взвешенные величины элементов.

Средняя взвешенная величина элемента $\bar{X}_{взв}$ вычисляется как сумма произведений значений средних арифметических величин

$\bar{X}_j$ на соответствующие доли площади f_j водосбора (участка), занятые данными j видами ландшафтов:

$$\bar{X}_{взв} = \bar{X}_1 f_1 + \bar{X}_2 f_2 + \dots + \bar{X}_n f_n, \quad (11)$$

где $f_j = \frac{f_j}{F} \frac{\text{км}^2}{\text{км}^2}$; F — площадь всего водосбора (участка), $\sum_{j=1}^m f_j = 1,0$.

Отношение взвешенных величин $\left(\frac{\bar{X}_j f_j}{\bar{X}_{взв}} \right)$ показывает долю

участия данного ландшафта в формировании средней по водосбору величины элемента водного баланса, а отношение средних арифметических величин элемента на двух различных участках характеризует степень влияния отдельных видов ландшафта на формирование элемента баланса. Например, если овраги занимают 10%, лес — 15% и поле — 75% площади водосбора, то при снегозапасах, равных соответственно 200, 100 и 60 мм, и при среднем взвешенном запасе воды в снеге на водосборе 80 мм доля участия в формировании суммарного запаса воды на водосборе по угодьям составит для оврагов 25%, для леса 19%, а для поля 56%.

ПРОГРАММЫ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Программы экспедиционных исследований, рассматриваемые в этой главе, отражают условия работ экспедиций ГГИ, проводившихся в различных районах Советского Союза. Порядок изложения программ соответствует последовательности задач воднобалансовых экспедиционных исследований, перечисленных в главе 1.

Наиболее подробно изложена первая программа, включающая общую часть, пример плана работ, а также структуру и штат экспедиции. Последующие программы содержат только общие части.

Каждая программа должна содержать сводную ведомость основных видов наблюдений экспедиции, на основании которой составляется смета. В смету включается стоимость работ по оборудованию гидрометеорологических пунктов наблюдений и содержанию персонала экспедиции [84].

2.1. Структура экспедиций

Структура воднобалансовых экспедиций зависит от поставленных задач, программы, размещения объектов исследований и объема работ.

При выполнении небольшого объема работ на сравнительно небольшой территории (менее 10 тыс. км²) руководящий состав экспедиции сосредоточен в ее штабе, располагающемся непосредственно в районе производства полевых работ. В руководящий состав входят начальник экспедиции, его заместитель по административно-хозяйственным вопросам и 2—3 старших инженера — руководители полевых работ. Состав такой экспедиции обычно не превышает 30 человек.

При значительном объеме однородных для всех объектов экспедиции работ и наблюдений, расположенных на большой территории (десятки тыс. км²), в организационную структуру

экспедиции входит штаб и несколько отрядов по 10—20 человек. Руководящий состав экспедиции состоит из начальника экспедиции, его заместителей по научно-организационным и административно-хозяйственным вопросам, старших инженеров (1—2) и начальников отрядов. Последние являются административно-

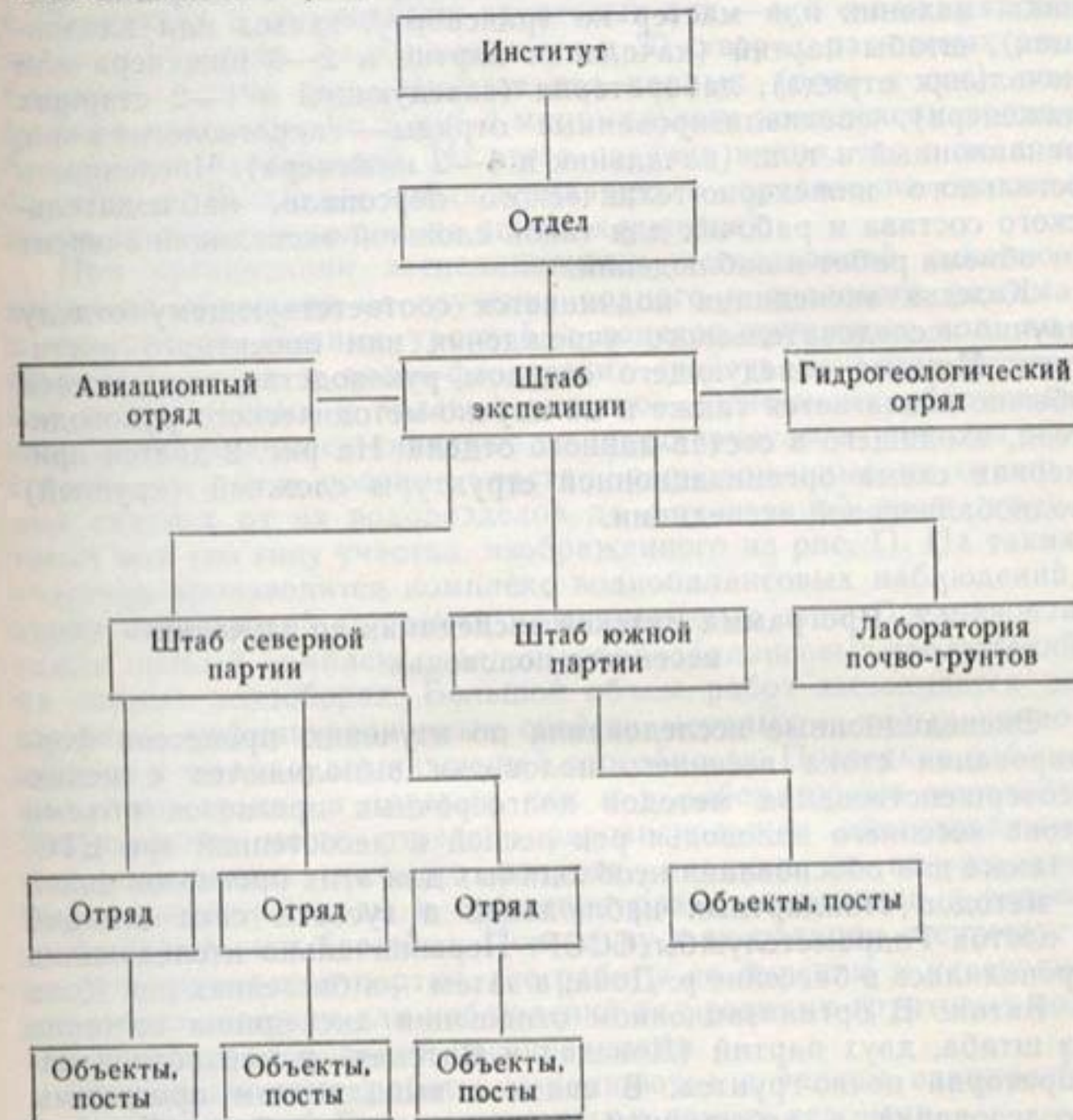


Рис. 2. Примерная схема организационной структуры крупной экспедиции.

хозяйственными лицами в своих отрядах и руководят производством полевых работ. Начальники отрядов в административно-хозяйственном отношении подотчетны заместителю начальника экспедиции, а по производственной линии — старшим инженерам экспедиции. Штаб экспедиции обычно располагается в населенном пункте, имеющем связь с районами работ отрядов.

При большом объеме разнородных работ, выполняемых в разных физико-географических районах, по отдельным программам целесообразно иметь несколько самостоятельных

административно-хозяйственных подразделений: партии, лаборатории (почвенная, агрохимическая, гидрофизическая и т. п.), специализированные отряды. Экспедиция может иметь следующую организационную структуру: штаб экспедиции (начальник, его заместитель, 2—3 старших инженера, 2—3 старших техника, механик или мастер по транспорту, завхоз или кладовщик), штабы партий (начальник партии и 2—3 инженера или начальник отряда), лаборатория (заведующий и 1—2 старших инженера), специализированные отряды — гидрогеологический, авиационный и т. п. (начальник и 1—2 инженера). Численность остального инженерно-технического персонала, наблюдательского состава и рабочих для такой сложной экспедиции зависит от объема работ и наблюдений.

Каждая экспедиция подчиняется соответствующему отделу научно-исследовательского учреждения или проектного института. Помимо заведующего отделом руководство экспедицией обычно возлагается также и на научно-методического руководителя, входящего в состав данного отдела. На рис. 2 дается примерная схема организационной структуры сложной (крупной) воднобалансовой экспедиции.

2.2. Программа Вятской экспедиции по изучению весеннего половодья

Экспедиционные исследования по изучению процессов формирования стока весеннего половодья выполняются с целью усовершенствования методов долгосрочных прогнозов объема стока весеннего половодья рек лесной и лесостепной зон ЕТС, а также для обоснования необходимых для этих прогнозов видов и методов стандартных наблюдений и густоты сети станций и постов Гидрометслужбы СССР. Первоначально исследования проводились в бассейне р. Дона, а затем — в бассейнах рек Дона и Вятки. В организационном отношении экспедиция состояла из штаба, двух партий (Донская и Вятская) и мерзлотной лаборатории почво-грунтов. В связи с выполнением программы исследований в лесостепной зоне полевые работы Донской партии были прекращены и расширены в бассейне р. Вятки.

В организационном отношении Вятская экспедиция состоит из штаба, трех отрядов, почвенно-грунтовой мерзлотной лаборатории и камерально-полевой группы (всего 65 человек). В предлагаемых ниже программе и примере плана наблюдений не отражены работы лабораторной и камерально-полевой групп.

Рассматриваемая программа полевых работ составлена применительно к штату экспедиции в 45 единиц с привлечением на весенний период 10 сотрудников камерально-полевой группы, занимающейся в основном научным освоением полученных экспедицией материалов.

На водосборе р. Вятки имеется весьма густая сеть станций и постов Гидрометслужбы: наблюдения за осадками и снегозапасами в поле и лесу проводятся в 60 пунктах, за метеорологическими элементами — в 30 пунктах, за промерзанием почв в поле — в 40 пунктах, за влажностью почв на сельхозугодьях — в 16 пунктах и за уровнями грунтовых вод — в 3 скважинах на полевых участках. Сток измеряется в 30 створах различных рек бассейна. Кроме того, имеются два парных (поле и лес) водосбора площадью по 2 км² с минимальным комплексом воднобалансовых наблюдений. Из этого перечня видно, что в лесном бассейне р. Вятки все наблюдения, кроме определения снегозапасов, проводятся только на полевых участках.

При организации экспедиционных исследований основное внимание обращено на изучение водного и теплового режима почво-грунтов, режима уровней и запасов грунтовых вод, инфильтрационных и водно-физических свойств почвенно-грунтовой толщи лесных и полевых участков. Основными объектами экспедиции являются типичные по почво-грунтам и уклонам местности лесные и полевые участки, расположенные на отдельных склонах от их водоразделов до естественной дрены грунтовых вод (по типу участка, изображенного на рис. 1). На таких участках производится комплекс воднобалансовых наблюдений, кроме наблюдений за стоком и испарением с леса. Организован также полный комплекс детальных воднобалансовых наблюдений на парных водосборах. Большой объем работ выполняется по изучению инфильтрационных свойств мерзлых и талых почво-грунтов и их водоудерживающей способности. Последние работы выполняются как в полевых, так и в лабораторных условиях. Значительное место отведено аэровизуальным обследованиям и картированию снежного покрова, наличия на поверхности почвы скоплений воды и состояния развития паводка в гидрографической сети бассейна. Поскольку в экспедиции отсутствует гидрогеологическая партия, все работы по бурению и установке режимных скважин для наблюдений за уровнями грунтовых вод выполняются сторонними организациями.

Экспедиционные работы выполняются в тесном взаимодействии учреждений Гидрометслужбы и других ведомств.

Ниже дается программа экспедиционных работ в бассейне р. Вятки по исследованию потерь весенних вод и водопоглотительной способности водосборов (на период с осени 1974 по осень 1977 г.).

Задачи полевых работ состоят в получении материалов, позволяющих:

- 1) определить суммарные потери весенних вод и расчленить их на составляющие отдельно для полевых и лесных участков различных водосборов бассейна р. Вятки;

- 2) рассчитать методом водного баланса величины возможного стока с полевых и лесных участков типичных водосборов

и сопоставить их с измеренными величинами весеннего стока рек;

3) определить водопоглотительную и водоудерживающую способность полевых и лесных участков водосборов и установить степень влияния основных факторов на поглощение талых вод почвенно-грунтовой толщей;

4) установить закономерности в пространственном (площадном) распределении для поля и леса основных факторов, определяющих водопоглотительную способность почвенно-грунтовой толщи (влагозапасы в верхнем 1—2-метровом слое почв, глубина промерзания и температура почв, уровни грунтовых вод);

5) установить соотношения основных факторов весеннего стока в поле и лесу, определяющих для этих угодий различия в формировании потерь весенних вод на инфильтрацию в почвогрунты (инфильтрационные и водно-физические свойства почвогрунтов, режим влагозапасов и промерзания, водоудерживающая способность);

6) оценить роль грунтовых вод в формировании потерь весенних вод и стока половодья и оценить предложенный косвенный метод расчета запасов грунтовых вод к началу и концу половодья — по величинам речного стока;

7) оценить роль испарения в формировании потерь весенних вод и проверить предложенные схемы расчета и прогноза величин испарения в весенний период;

8) разработать рекомендации по составу и размещению сети наблюдений, необходимых для прогноза стока весеннего половодья в лесных районах, а также для методики расчета влагозапасов и глубин промерзания почв в лесах за прошлые годы.

Объекты экспедиции. Полевые работы проводятся в пределах выбранных четырех типичных речных водосборов в бассейне р. Вятки: р. Моломы (площадь 10 500 км²), р. Верхней Вятки — п. Красноглинье (2320 км²), р. Чепцы (18 900 км²) и р. Кильмези (16 400 км²). Эти водосборы характеризуют почти все основные различия в формировании стока весеннего половодья бассейна р. Вятки, а также сопредельных территорий — водосборов рек Ветлуги, Юга, Лузы и Верхней Камы.

Экспедиционные пункты наблюдений размещаются таким образом, чтобы осветить условия формирования потерь весенних вод на ряде небольших частных водосборов, расположенных внутри выбранных четырех типичных бассейнов. Всего наблюдениями будет охвачено 18 водосборов, включая бассейн р. Вятки до г. Кирова (48 300 км²) и г. Вятские Поляны (124 000 км²). По этим водосборам должны определяться потери весенних вод и рассчитываться весенний сток по разности между приходной частью водного баланса и суммарной величиной измеренных потерь. Площади изучаемых водосборов следующие: два водосбора с площадями по 2—3 км², три водосбора — 100—400 км²,

Таблица 1
Сведения о стационарных пунктах наблюдений и временных маршрутах экспедиции на р. Вятке

№ пункта	Пункт	Угодье	Почвы и грунты (по механическому составу)	Определение влажности и температуры (по шурфам) (количество шурфов)	Наблюдения за ходом промерзания по мерзлотным меркам (количество мерзлотных мерок)	Наблюдения за температурой почвы на разных глубинах по вытравленным термометрам (количество комплектов термометров)	Наблюдения за осаждающимися осадками по записанным от ветра осадкомерам	Средние значения осадков по маршрутам, протяженным на 1 км	Наблюдения за уровнями грунтовых вод по скважинам (количество скважин)	Наблюдения за снегонакоплением и снеготаплением по количеству снега на каратах (количество карат)
Стационарные пункты наблюдений										
1	Опарино	Лес	Супесь на суглинке	6/15	2	1	1	0.5/3.0	5	1
2	Мураши	Поле	Супесь на суглинке	4/4	1	1	—	0.1/0.1	2	1
		Лес	Супесь тяжелая на суглинке	7/15	4	2	1	0.8/3.0	8	—
3	Полевой водосбор	Поле	Супесь тяжелая на суглинке	4/4	2	1	—	0.1/0.1	1	—
11	Кильмезь	Поле	Супесь и суглинок на суглинке	22/22	4	2	1	3.1/3.1	25	1
		Лес	Песок на песке	6/15	2	1	—	0.8/3.0	5	1
		Поле	Супесь на песке	6/15	2	1	—	0.8/3.0	5	1
	Всего пунктов	Лес 10	—	71/153	24	12	10	9.4/30	70	9
		Поле 10	—	75/135	23	12	1	8.9/24	66	8
Временные маршруты протяженностью 3 км										
1	д. Молома	Лес	Супесь на суглинке	—/15	—	—	—	—/3.0	—	—
2	с. Кез	Лес	Супесь на суглинке	—/15	—	—	—	—/3.0	—	—
		Поле	Супесь на суглинке	—/15	—	—	—	—/3.0	—	—
5	ст. Можга	Лес	Супесь на песке	—/15	—	—	—	—/3.0	—	—
		Поле	Супесь на песке	—/15	—	—	—	—/3.0	—	—
	Всего маршрутов	Лес 4	—	—/45	—	—	—	—/12.0	—	—
		Поле 4	—	—/60	—	—	—	—/12.0	—	—

Примечание. В числителе указано количество шурфов и протяженность снегомерных маршрутов в обычные сроки наблюдений, в знаменателе — их количество при съемках, выполняемых два раза в год (в конце зимы и в конце весны).

Таблица 2

План работ экспедиции на р. Вятке по изучению весеннего половодья на 1974—1977 гг. по разделу «Производство наблюдений на стационарных пунктах (маршрутах)»

Виды наблюдений и работ	Объекты наблюдений и работ, количество объектов	Объем одноразовых наблюдений и работ	Сроки и периоды наблюдений и выполнения работ	Примечание
1. Наблюдения за влажностью и влагозапасами — на типичных склонах до глубины 1 м	11 пунктов 9 склонов в поле, 9 склонов в лесу, 1 полевой и 1 лесной водосборы	75 шурфов в поле, 71 шурф в лесу, всего 146 шурфов	В период с августа по май наблюдения проводятся в конце каждого месяца. В весенний период влагозапасы определяются в дополнительные сроки: в период прохождения пика половодья и в конце спада стока половодья	
— в том числе до глубины 1,5—2,0 м	То же	В том числе около 70 шурфов до глубины 1,5—2,0 м	Четыре раза в год: в конце августа — начале сентября, в начале зимы, в конце зимы и в конце весны — при суточном слое стока рек 0,6 мм/сутки	В пунктах, расположенных севернее р. Чепцы, глубина шурфов 1,5 м, а на водосборе р. Чепцы и южнее — 2 м

Виды наблюдений и работ	Объекты наблюдений и работ, количество объектов	Объем одноразовых наблюдений и работ	Сроки и периоды наблюдений и выполнения работ	Примечание
— при съемках влажности до глубины 1 м на маршрутах протяженностью 3 км (маршруты являются продолжением исследуемых склонов)	7 маршрутов в поле и 9 в лесу	Всего при съемке 288 шурфов: 135 в поле и 153 в лесу, включая 48 шурфов не маршрутных (водосборы Полевой и Лесной, пункты в поле — Мураши и Опарино)	Два раза в год: в конце зимы (март) и в конце весны	Определяется полная глубина промерзания и степень цементации мерзлой почвы
2. Наблюдения за глубиной промерзания почвы по шурфам в даты определения влагозапасов — на типичных склонах	11 пунктов 9 склонов в поле, 9 склонов в лесу, 1 полевой и 1 лесной водосборы	По 146 шурфам, в том числе 75 в поле	В даты определения влажности почв: с октября по май в конце каждого месяца	
— при съемках в конце зимы на маршрутах длиной 3 км	7 маршрутов в поле и 9 в лесу	По 288 шурфам, в том числе 135 в поле	В конце зимы (10—20 марта)	

четыре водосбора — 1000—2500 км², три водосбора — 3000—6000 км², четыре водосбора — 10—18 тыс. км², два водосбора — 50—124 тыс. км².

Экспедиционные пункты наблюдений подразделяются на стационарные и эпизодические (табл. 1). На стационарных пунктах, совмещенных с метеостанциями или постами Гидрометслужбы, наблюдения проводятся на типичных для данного района по почво-грунтам и рельефу склонах в лесу и поле. Всего выбрано 11 стационарных пунктов, включающих девять лесных и девять полевых склонов, а также один лесной и один полевой водосбор.

В предвесенний период проводятся съемки влажности и промерзания почво-грунтов и снегозапасов, а в конце половодья определяются только влагозапасы по удлинненным до 3 км 16 стационарным, а также по 8 временным маршрутам. Это позволит получить пространственное распределение основных факторов половодья, определить репрезентативность выбранных стационарных объектов, а также получить данные для объективной оценки результатов наблюдений существующей сети станций Гидрометслужбы на полевых участках и для разработки рекомендаций по организации наблюдений на лесных участках.

В состав основных наблюдений и работ экспедиции на полевых и лесных стационарных участках входят:

- 1) наблюдения за режимом влагозапасов почво-грунтов до глубины 1,5—2,0 м;
- 2) наблюдения за температурным режимом почво-грунтов, глубиной промерзания и оттаивания их;
- 3) наблюдения за колебаниями уровней грунтовых вод;
- 4) наблюдения за накоплением и таянием снега;
- 5) наблюдения за осадками с помощью защищенных от ветра осадкомеров;
- 6) наблюдения за испарением с поверхности почвы и воды в весенний период (в одном пункте — в поле);
- 7) проведение работ по определению водно-физических свойств почво-грунтов, включая водоудерживающую их способность и инфильтрационные характеристики;
- 8) аэровизуальные работы и обследования водосборов для определения степени покрытия полевых и лесных их участков (включая вырубki) снегом и водой в период формирования максимума весеннего половодья;
- 9) работы, связанные с выкопировкой текущих материалов наблюдений сети Гидрометслужбы, расположенной в пределах всего бассейна р. Вятки, а также материалов наблюдений сторонних организаций за водно-тепловым режимом почво-грунтов в лесах.

Сроки наблюдений и объемы работ даются в прилагаемом плане экспедиционных наблюдений и работ. В табл. 2 в качестве примера приводится один лист такого плана.

Отчетность. По результатам полевых работ Вятская экспедиция ежегодно составляет технические отчеты. Они содержат: описание экспедиционных объектов, включая характеристики почво-грунтов и схем расположения пунктов (точек) наблюдений; схему водосбора р. Вятки с указанием всех пунктов наблюдений экспедиции и сети Гидрометслужбы; описание методики наблюдений и работ; описание гидрометеорологической характеристики текущего года; материалы экспедиционных наблюдений и материалы наблюдений на отдельных пунктах сети Гидрометслужбы, расположенных в пределах бассейна р. Вятки, а также результаты расчетов средних для водосборов величин элементов водного баланса.

2.3. Программа экспедиционных исследований формирования стока весеннего половодья в бассейне р. Шелони

Водосбор р. Шелони площадью 6820 км² расположен в лесном, избыточно увлажненном районе Северо-Запада ЕТС (Псковская и Новгородская области) и характеризуется большим разнообразием физико-географических условий (кроме климата). Отдельные водосборы бассейна имеют облесенность от 10 до 90%, заболоченность — от 5 до 50%, рельеф местности — от плоского с уклонами 2‰ до резко пересеченного с уклонами 50‰, густоту речной сети — от 0,4 до 2,5 км/км² и почво-грунты — от тяжелых суглинков до песков.

Задачи исследований:

1. Определить влияние физико-географических факторов на формирование объема стока весеннего половодья, максимальные модули стока и на трансформацию паводочной волны (вид гидрографа стока).
2. Оценить различия в соотношениях элементов водного баланса водосборов, вносимые физико-географическими факторами.
3. Разработать методику наблюдений и расчета по определению русловой емкости речной сети и оценки ее роли в трансформации гидрографов стока и потерь паводочных вод.
4. Обосновать методику расчета водных балансов речных водосборов за короткие интервалы времени — фазы развития весеннего половодья.
5. Оценить пространственную изменчивость основных факторов стока весеннего половодья: снежного покрова, глубин промерзания и влажности почво-грунтов.
6. Оценить роль берегового регулирования в формировании стока половодья.

Для решения поставленных задач были запланированы следующие работы:

1. Выбор 50—60 водосборов, наиболее контрастных по физико-географическим характеристикам.

2. Измерение стока воды на 55 гидростворах.

3. Измерение уровней воды на 55 гидростворах и 10 водомерных постах, в том числе на 25 с помощью самописцев уровней.

4. Измерение уровней воды в 7 озерах бассейна, на 6 болотных массивах и в 15 заболоченных понижениях.

5. Проведение снегомерных съемок в поле и лесу на маршрутах длиной 2 км:

— для определения снеготаяния к началу снеготаяния — на 50 полевых и 50 лесных маршрутах;

— для определения водоотдачи из снега в период половодья — на 35 полевых и 35 лесных маршрутах.

6. Измерение осадков в 30 пунктах.

7. Определение запасов влаги в почво-грунтах в различные фазы половодья в 50 пунктах — шурфах, в том числе 25 — в поле и 25 — в лесу.

8. Наблюдения за уровнями грунтовых вод:

— в колодцах бытового водопользования в 30 пунктах (80 колодцев);

— в скважинах на приусловных участках рек — 9 участков.

9. Определение объема воды в лужах (аккумуляторах поверхностного стока) на сельскохозяйственных полях по маршрутам снегомерных съемок — в 30 пунктах.

10. Измерение глубин промерзания и оттаивания почвы:

— глубин промерзания почвы перед началом снеготаяния в 750 точках, равномерно расположенных в бассейне, в том числе 450 точек в поле и 300 — в лесу;

— глубин оттаивания почвы после схода снега в поле и лесу на снегомерных маршрутах — в 30 пунктах.

11. Наблюдения за испарением со снега, с воды и почвы — в одном пункте.

12. Определение площадей водосборов и их физико-географических характеристик с использованием картографических материалов и результатов полевых обследований.

Полевые работы выполнялись в половодья 1962 и 1963 гг. Подробные сведения о программе исследований и методике производства работ с приложением материалов наблюдений опубликованы в монографии [36].

2.4. Программа экспедиционных исследований в Северном Казахстане (1959—1963 гг.)

Программа экспедиционных гидрологических исследований в Северном Казахстане (Кустанайская область) предусматри-

вала в качестве основной своей задачи изучение водного баланса различных наиболее типичных водосборов для выявления взаимосвязи поверхностных и подземных вод (питание подземных вод атмосферными осадками) в районах, предусмотренных планом гидрогеологических исследований для оценки динамических запасов подземных вод в целях водоснабжения.

В связи с решением поставленных задач планировалось проведение полевых и экспериментальных исследований отдельных элементов водного баланса и их взаимосвязи в различных условиях.

Решение вопроса о взаимосвязи поверхностных и подземных вод сопряжено с большими трудностями. Эти трудности обусловлены тем, что в засушливых районах Северного Казахстана определение количественных характеристик взаимосвязи поверхностных и подземных вод из уравнения водного баланса с необходимой точностью почти невозможно. Это объясняется очень большими различиями в величинах отдельных членов уравнения водного баланса. Сравнительно большие величины атмосферных осадков, испарения, влагозапасов в толще почво-грунтов, определяемые для водосборов с ошибками порядка $\pm 7-15\%$, должны сопоставляться с величинами поверхностного стока и питания подземных вод, в десятки и сотни раз меньшими вышеуказанных элементов. Следовательно, вычисление какого-либо элемента водного баланса по разности как остаточного члена уравнения баланса является совершенно недопустимым. При выполнении исследований каждый элемент водного баланса должен с достаточной полнотой и точностью определяться непосредственными измерениями.

В целях подробного изучения водного баланса предусматривалось исследование всех его элементов на водосборах двух озер, одного водохранилища (пос. Алюминстрой) и 22 логов, различающихся между собой величинами площадей, уклонов, характером поверхности и почво-грунтов.

В состав наблюдений на воднобалансовых водосборах входит измерение атмосферных осадков и снеготаяния, изучение метеорологических условий, включая актинометрические элементы, измерение стока (руслового, подруслового и склонового), измерение уровня и температуры воды в озерах, наблюдения за испарением с водной поверхности, почвы и растительности, определение влагозапасов в почво-грунтах и их водно-физических свойств, наблюдения за уровнем и температурой грунтовых вод.

1. Изучение метеорологических условий производилось по данным наблюдений на метеостанциях и постах, расположенных на территории пяти воднобалансовых станций. В климатологические сроки производились наблюдения за осадками, снежным покровом, температурой и влажностью воздуха, скоростью ветра, атмосферным давлением, облачностью, температурой и

глубиной промерзания почвы, а на одной из станций — актинометрические наблюдения.

2. Определение снегозапасов и выявление особенностей их формирования и распределения по территории осуществлялось путем производства детальных ландшафтных и маршрутных снегоъемок на водосборах.

Ландшафтные снегоъемки производились на воднобалансовых водосборах площадью менее 100 км² в течение всего зимнего периода два раза в месяц. Маршрутами измерений охватывались все основные виды ландшафтов, имеющиеся в бассейне: ровная степь, лес (лиственный и хвойный), лесные поляны, лесные опушки, распаханнные участки со снегозадержанием и без него, русла рек и временных водотоков, возвышенности (склоны, подножья и впадины между холмами), озера (открытые и заросшие водной растительностью).

В период весеннего снеготаяния убыль снегозапасов определялась ежедневно путем снегоъемки по сокращенному числу ранее выбранных маршрутов.

Маршрутные снегоъемки производились один раз в год для оценки величин снегозапасов перед началом таяния на всех водосборах области с наличием наблюдений за стоком. Маршруты охватывали все части бассейна, характерные в отношении условий залегания снега. Длина маршрута 15—30 км.

3. Наблюдения за испарением со снежного покрова проводились в различных природных зонах (две станции) на участках, отличающихся экспозицией и характером поверхности (пашня, целина, лес). Одновременно велись наблюдения за скоростью ветра и температурой поверхности снега (по затененному и незатененному термометрам).

4. Исследования гидрологического режима водотоков осуществлялись на всех водотоках, замыкающих воднобалансовые бассейны. Наблюдения велись круглогодично за всеми элементами гидрологического режима (уровни воды, сток, температура воды, ледовые явления, химический состав).

В весенний период наблюдения должны быть освещены все фазы формирования и прохождения половодья с подробным описанием ледовой обстановки и других сопутствующих явлений.

На водотоках, где имеет место промерзание русла или заполнение его снегом, расходы воды в период снеготаяния измерялись непрерывно один за другим независимо от величины и интенсивности изменения уровня воды.

Уровни воды измерялись на водомерных постах. В период летней и зимней межени наблюдения производились в два срока по местному декретному времени. Во время весеннего половодья, дождевых паводков, осенних зажоров льда уровень измерялся через каждые 2 ч или непрерывно — самописцами.

5. Исследование режима подруслового стока на реках тре-

бует организации наблюдений и проведения опытных работ на специально оборудованных участках отдельных рек.

Наблюдения производились в створах, оборудованных буровыми скважинами.

В комплекс полевых наблюдений за подрусловыми водами входило измерение уровня и температуры воды в скважинах, взятие проб воды из скважин на химический анализ, определение расходов воды.

Полевые работы по изучению подруслового стока организуются и проводятся совместно со специалистами гидрогеологами.

6. Изучение склонового (поверхностного) стока производилось для определения влияния различных характеристик водосборов (почво-грунты, уклоны, экспозиция склонов, угодья, растительность и др.) на формирование стока воды. Для этого предусматривалось измерение склонового стока на стоковых площадках, расположенных на воднобалансовых бассейнах. Наблюдения за стоком и сопутствующими факторами производились в течение всего года; например, зимой велись наблюдения за формированием и распределением снежного покрова и глубиной промерзания почво-грунтов.

Весной, с началом таяния, измерялся сток, отбирались пробы воды на мутность и химический анализ. Летом при каждом появлении стока и до полного его исчезновения непрерывно производились те же наблюдения.

7. Исследование водного, термического и ледового режима озер. В комплекс наблюдений на озере входили измерения колебаний уровня и температуры воды, наблюдения за ледовыми явлениями и толщиной льда, отбор проб воды на химический анализ.

8. Исследование испарения с водной поверхности проводилось с помощью плавучих и наземных испарительных установок на трех озерах.

9. Исследования испарения с почвы и транспирация велись при помощи весовых испарителей ГГИ-500-50 и ГГИ-500-100 и гидравлического испарителя ГПИ-55 (малой модели), устанавливаемых на испарительных площадках, охватывающих наиболее распространенные виды поверхности водосборов (целина, пашня с разными сельскохозяйственными культурами, бессточные понижения, лесные массивы) и различные почво-грунты. Установка испарителей производилась на 30 почвенных испарительных площадках.

10. Исследование влажности и водно-физических свойств почво-грунтов. Изучение влагозапасов и их динамики в почво-грунтах производилось на экспериментальных водосборах путем последовательного отбора проб грунта и определения его влажности в лабораторных условиях. Пробы отбирались в конце июня, июля, сентября, октября в 90 пунктах до глубины 1 м, в конце апреля, мая и августа в 61 пункте до глубины 1,5 м,

а в конце зимы, после оттаивания почвы весной и в конце осени (ноябрь) в тех же 61 пункте — до уровня грунтовых вод.

В период первой влагоъемки в пределах всей толщи почво-грунтов зоны аэрации предусматривался отбор проб для определения водно-физических характеристик почво-грунтов (объемный и удельный вес, максимальная капиллярная и гигроскопическая влагоемкость). Указанные характеристики почво-грунтов определялись в полевых и лабораторных условиях. Более глубокое изучение закономерностей формирования водного режима в почво-грунтах проводилось с помощью лизиметрической установки в районе одной из воднобалансовых станций.

11. Конденсация влаги из атмосферы в почво-грунтах измерялась на воднобалансовых водосборах по испарителям различных систем и конденсметрам, установленным в грунтах на различных глубинах. Одновременно велись наблюдения за метео-элементами, обуславливающими конденсацию (температура и влажность воздуха и температура почвы на разных глубинах).

12. Для исследования солевого состава почво-грунтов на каждой воднобалансовой станции выбирались два-три участка с характерным для всего изучаемого водосбора литологическим строением почво-грунтов, а на одном из них с явно выраженным наличием солей.

Солевой состав определялся методом отбора проб с последующим производством химического анализа водных вытяжек. Пробы для определения солевого состава отбирались одновременно со взятием проб на влажность.

13. Наблюдения за грунтовыми водами производились по скважинам, оборудованным на всех воднобалансовых бассейнах. В комплекс исследований входили наблюдения за уровнем и температурой грунтовых вод, отбор проб воды на химический анализ, определение коэффициентов фильтрации по данным опытных откачек, определение коэффициентов водоотдачи водовмещающих пород и подробная гидрологическая съемка в пределах изучаемых водосборов.

14. Исследование просачивания влаги в почво-грунты производилось на всех воднобалансовых бассейнах, на участках с различными почво-грунтами, характером поверхности и уклонами. Работы выполнялись в летне-осенний период с помощью экспериментальных инфильтрометров, дождевальных установок и почвенных термо-влажнострических установок. В результате исследований вычислялись коэффициенты инфильтрации и величины наименьшей влагоемкости.

15. Определение физико-географических и морфометрических характеристик экспериментальных воднобалансовых бассейнов и участков необходимо для подробного изучения всех элементов водного баланса экспериментальных объектов. В первую очередь требуются материалы, позволяющие точно определить водоразделы и площади водосборов, их средние уклоны, уклоны

характерных склонов, густоту гидрографической сети; длину, ширину и емкость водоемов; размещение по площади сельскохозяйственных угодий, места расположения и площади лесов, болот и бессточных понижений с характеристикой их аккумуляющей емкости; состав почво-грунтов, глубину залегания грунтовых вод и пр.

Указанные данные могут быть получены на основании использования топографических, почвенных и гидрогеологических карт в сочетании с подробными геодезическими и аэрофотосъемочными материалами, а также справочников по водным ресурсам «Основные гидрологические характеристики», табл. 1. Справочники данной серии изданы для всей территории Советского Союза и в них содержатся все необходимые гидрографические и гидрологические данные по изученным рекам. При отсутствии сведений в указанных справочниках предусматривается проведение аэрофотосъемочных и наземных геодезических работ.

Кроме того, должны быть произведены почвенные и ботанические обследования водосборов и собраны все основные данные по геологии и гидрогеологии.

16. Камеральные работы включают:

а) сбор всех имеющихся материалов — литературных, архивных и непосредственных наблюдений ранее работавших экспедиций и находящихся на хранении в различных организациях, производивших гидрологические изыскания и агроводнофизические исследования;

б) обработку текущих материалов наблюдений экспедиции;

в) научный анализ материалов (указанных в п. а и б);

г) составление научно-технического отчета.

2.5. Программа экспедиционных исследований в Южном Казахстане (1966—1970 гг.)

Программа исследований в Южном Казахстане включала воднобалансовые исследования на неорошаемых и орошаемых землях.

Основными задачами исследований на неорошаемых землях являлось:

1) детальное исследование водного баланса бассейнов рек в связи с проблемой водоснабжения промышленных объектов и разработкой мер по предотвращению затопления рудных шахт. Особое внимание уделялось выяснению и учету влияния карста в бассейнах исследуемых рек, их гидрологического режима;

2) изучение руслового баланса р. Сырдарьи ниже Чардарьинского водохранилища и рек Талас и Чу в пределах Казахстана с учетом водозабора на орошение и водоснабжение на территории Киргизской ССР. Для наиболее полного и всестороннего исследования водных ресурсов отдельных такыров,

чурот, карасучных источников, а также лимана р. Чу в районе пос. Малые Камкалы подробно измерялись все основные элементы водного баланса.

В состав работ на всех воднобалансовых объектах входило измерение осадков, снежного покрова, стока, испарения с воды, снежного покрова, почвы и растительности, определение влагозапасов в почво-грунтах и их водно-физических свойств, наблюдения за уровнем грунтовых вод.

Четыре воднобалансовые станции экспедиции располагаются в пустынях Бетлак-Дала — на такырном участке, Кызылкумы — также на такырном участке, Мусон-Кум — на чуротном участке и на лимане в пойме р. Чу.

В качестве примера приводится содержание наблюдений и работ лишь по Чуйской воднобалансовой станции. Она организована на пойменном участке р. Чу в районе пос. Малые Камкалы. Длина участка около 30 км, ширина изменяется от 2 до 3 км.

Задачей исследования являлась оценка величин и режима всех основных элементов водного баланса на изучаемом участке для выяснения притока воды в лиман и расходование ее в различные сезоны года.

Для решения этой задачи должны были быть выполнены следующие работы.

1. Метеорологические и актинометрические наблюдения на метеостанции в пос. Малые Камкалы и градиентные психрометрические наблюдения в одном пункте на исследуемом участке р. Чу с установкой транспирационных психрометров на трех уровнях: на высоте 0,5 и 2,0 м над растениями и на уровне средней высоты растений.

2. Осадкомерные наблюдения в верхнем и нижнем пунктах участка, а также на метеостанции, указанной в п. 1.

3. Снегосъемки по трем маршрутам длиной 2 км каждый, проложенным на луговом разнотравье, в тростниках и на открытой поверхности льда. При этом собирались сведения о распределении угодий (в процентах) на пойме (луговое разнотравье, тростник, открытая поверхность льда).

4. Определена величина аккумулятивной воды во льду на пойме, для чего перед началом весеннего снеготаяния производилась ледосъемка по двум поперечникам (в верхнем и нижнем створах).

5. Водомерные наблюдения и измерения расходов воды в течение всего года с отбором проб воды для определения наносов и производства химического анализа, наблюдения за температурой воды и ледовыми явлениями (в верхнем и нижнем гидрометрических створах участков реки).

6. Определены площади затопления лимана по данным аэрофотосъемок, которые проводились пять раз (два раза на подъеме паводка, один раз на пике и два раза на спаде). По

этим съемкам определялись также площади, занятые тростником.

7. Определены объемы аккумулятивной воды по данным о площади затопления лимана и средней глубине воды на пойме, которая устанавливалась путем промеров глубин на двух специальных створах, расположенных в районах верхнего и нижнего гидроствора. Промеры выполнялись в дни производства аэрофотосъемок.

8. Измерен склоновый приток в лиман по данным наблюдений на двух стоковых площадках, организуемых в долине р. Чу в районе верхнего и нижнего створов.

9. Измерено испарение с водной поверхности на открытом участке по испарителю ГГИ-3000, установленному в районе верхнего створа; с зарослей водной растительности по трем испарителям с тростником и одному испарителю с водой, расположенному между растениями, в районе верхнего створа.

10. Измерено испарение с почвы по двум комплектам весовых испарителей ГГИ-500-50 с луговым разнотравьем, устанавливаемым на затоплявшейся части поймы: один комплект постоянный, второй перемещается вслед за урезом воды в реке. Испарители заряжались монолитами с типичными для лимана почво-грунтами и растительностью.

11. Наблюдения за уровнем, температурой и химическим составом грунтовых вод на двух профилях в районе верхнего и нижнего гидростворов по пяти скважинам на каждом профиле. Скважинами охватывалась вся пойма; кроме того в каждом створе должно быть по одной крайней скважине на коренных породах пустыни Бетлак-Дала и по одной скважине на второй пойменной террасе в Муюн-Кумах.

12. Определена влажность почвы по трем маршрутам, проложенным поперек поймы в районе верхнего и нижнего гидростворов и в средней части лимана. Общее количество пунктов отбора проб 20. Пробы отбирались до глубины 1,5 м. При понижении уровня грунтовых вод глубже 1,5 м определялась влажность почво-грунтов в зоне аэрации в пунктах, расположенных около смотровых скважин. В период обсыхания лимана на отдельных участках наблюдений в верхнем и нижнем створах определялась влажность почвы через 2—3 суток после схода воды с участка. В зоне аэрации пробы отбирались до снеготаяния, после снеготаяния, при полном обсыхании лимана и перед началом осеннего подъема грунтовых вод.

Для определения водно-физических свойств почво-грунтов пробы отбирались на шести участках.

Основными задачами исследований на орошаемых землях являлись:

1) разработка методики расчета водного баланса поливных сельскохозяйственных полей, орошаемых массивов и оросительных систем;

2) определение недостатков водопотребления (дефицитов годных ресурсов) различных сельскохозяйственных культур и оценка внутрисезонного его хода в районе Южного Казахстана;

3) установление закономерностей формирования урожая в зависимости от гидрометеорологических условий;

4) экспериментальные исследования влагообмена в зоне аэрации и разработка методики расчета интенсивности подпитывания влагой корнеобитаемого слоя за счет грунтовых вод;

5) разработка рациональных оросительных норм и режимов полива для хлопчатника, сахарной свеклы, озимой пшеницы, риса на отдельных наиболее характерных орошаемых массивах;

6) разработка программы наблюдений и схемы размещения гидрометеорологической сети на орошаемых землях Южного Казахстана для определения режима полива и корректировки сроков полива по текущей гидрометеорологической обстановке;

7) усовершенствование существующих и разработка новых методов, приборов и оборудования для исследования элементов водного, теплового и солевого балансов и влагообмена в зоне аэрации в условиях Южного Казахстана.

Воднобалансовые исследования на орошаемых землях проводились на шести воднобалансовых станциях, расположенных на наиболее репрезентативных для Южного Казахстана оросительных системах. Ниже приводятся краткие сведения об оросительных системах и участках на одной воднобалансовой станции.

Кзылкумская оросительная система инженерного типа находилась в стадии строительства и частично уже эксплуатировалась; питается водами Чардаринского водохранилища на р. Сырдарье. На землях, орошаемых ею, возделывается в основном рис.

Воднобалансовые исследования здесь имели своей целью детальное изучение элементов водного баланса для того, чтобы с самого начала действия оросительной системы разработать и ввести в практику научно обоснованные рекомендации сроков и норм полива. Это будет способствовать повышению урожая и предотвращению процессов, нарушающих рациональный водно-тепловой и солевой баланс орошаемого массива.

Изучение водного и теплового балансов на этой системе проводилось на территории совхоза «Восход» на участке площадью 350 га, орошаемом внутрихозяйственным каналом. Участок имеет дренажно-коллекторную сеть. Изучение водопотребления и элементов режима сосредоточено на одном экспериментальном поле (карте), расположенном в центре участка.

Для исследования физических процессов формирования водного, теплового, солевого балансов, гидрологического и агрометеорологического режимов орошаемых земель проводился следующий комплекс экспедиционных работ.

1. Изучение притока на орошаемый участок и сброса оросительных вод, стока талых и дождевых вод с участка и потерь воды в оросительных каналах. Детальное изучение притока оросительных вод из каналов на орошаемые земли и оттока их поверхностным и подземным путем в коллекторную сеть, а также стока талых и дождевых вод производилось на экспериментальных участках указанных оросительных систем. Для этого гидрометрические створы были оборудованы водосливами или мостиками для измерения расходов воды вертушкой и самописцами уровня.

Определение потерь воды на инфильтрацию в каналах и бороздах производилось гидрометрическим методом, а на испарение — с помощью плавучих испарителей в течение теплого периода года.

2. Изучение метеорологических условий, режима осадков, снеготранспорта, выявление особенностей их формирования и распределения.

Наблюдения за метеорологическими элементами на каждой воднобалансовой станции велись по программе метеостанции II разряда.

На экспериментальных полях производились наблюдения только за осадками, температурой, влажностью воздуха и скоростью ветра. Наблюдения за осадками выполнялись в 18 пунктах по осадкомерам Третьякова, за ливневыми осадками с помощью плювиографов, установленных рядом с осадкомерами.

Изучение снежного покрова производилось методом маршрутных съемок на каждой воднобалансовой станции соответственно по 3—10 профилям.

3. Изучение водопотребления различными орошаемыми сельскохозяйственными культурами (хлопок, сахарная свекла, озимая пшеница) производилось с помощью лизиметров ГР-80 и гидравлических испарителей-лизиметров (ГПИЛ) с высотой монолитов от 1 до 2,5 м. Водопотребление риса изучалось с помощью водных испарителей ГГИ-3000 и методом теплового баланса.

На каждом экспериментальном поле с хлопком, сахарной свеклой, озимой пшеницей устанавливалось 4—5 лизиметров с различными глубинами грунтовых вод (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 и 2,5 м) и 2—3 гидравлических испарителя с высотой монолита 1,0—1,5 м. Величины влагообмена и водопотребления определялись одновременно путем взвешивания этих приборов и долива воды в них.

Кроме того, на каждом экспериментальном поле устанавливались почвенные испарители ГГИ-500-100 для изучения испарения с почвы.

4. Изучение теплового баланса для определения водопотребления сельскохозяйственных культур.

Теплобалансовые наблюдения по полной программе (актинометрические и градиентные наблюдения, наблюдения за теплопоток в почву) велись на основных воднобалансовых полях, а на дополнительных (интерполяционных) полях — только за радиационным балансом по балансомеру.

5. Агрометеорологические наблюдения включали в себя наблюдения за влажностью почвы до уровня грунтовых вод и фенологические наблюдения по полной программе агрометстанций Гидрометслужбы. Основной целью этих исследований являлось изучение зависимости формирования урожая от влагообеспеченности растений, погодных условий и разработка на этой основе методики прогноза урожая.

6. Гидрогеологические исследования включали:

- изучение режима уровней грунтовых вод на экспериментальных участках и полях по наблюдениям в скважинах;

- определение фильтрационных свойств почво-грунтов и скоростей грунтового потока;

- съемку почво-грунтов на Арысь-Туркестанской воднобалансовой станции по 80 скважинам глубиной 5—6 м (на 2 м ниже уровня грунтовых вод). Материалы съемки необходимы для составления почвенно-литологической карты.

7. Исследование солевого баланса орошаемых земель и влагообмена в зоне аэрации. В результате неправильного режима орошения и нарушений правил водопользования наблюдается засоление орошаемых земель.

Для определения солевого состава оросительных и сбросных вод был произведен отбор проб воды на химический анализ в характерные периоды по 11 створам: на головных и замыкающих створах оросительных каналов, водовыводах на экспериментальные поля (карты) и на сбросах с них.

Для определения солевого состава грунтовых вод в характерные периоды отбирались пробы воды из наблюдательных скважин по глубине через каждые 0,5 м.

Для определения количества растворимых солей в почвогрунтах при почвенно-грунтовой съемке производился отбор проб на водносолевую вытяжку на двух экспериментальных участках, по четырем постоянным шурфам на каждом экспериментальном поле. Всего делалось пять отборов на семи горизонтах (у поверхности почвы, на глубинах 20, 40, 60, 100, 200 см и у поверхности грунтовых вод). Производилось также определение количества солей, попавших на поле с дождевыми водами, вносимых с удобрениями, приносимых эоловым путем и накапливаемых растительной массой.

На Кылкумском воднобалансовом участке определялся солевой состав оросительных и сбросных вод. Для этого отбирались пробы воды на химический анализ в головном створе оросительного канала и на сбросе с него, в начале групповых

распределителей, в начале и конце сбросного коллектора, в конце дренажосборителей — всего в 8 створах.

Пробы отбирались в вегетационный период в характерные моменты поливного режима риса; всего за сезон 12 раз.

В дополнение к полевым работам выполнялся большой объем лабораторных работ по определению водно-физических характеристик почво-грунтов и производству химических анализов воды.

ОРГАНИЗАЦИЯ НАБЛЮДЕНИЙ

В настоящей главе приводятся общие рекомендации по организации наблюдений за элементами водного баланса и основными факторами, обуславливающими их изменения. Рекомендации даются применительно к работам в экспедиционных условиях. Поэтому все виды стандартных наблюдений, выполняющиеся в экспедициях в полном соответствии с действующими наставлениями, рекомендациями и указаниями рассматриваются здесь весьма кратко. Основное внимание уделяется рассмотрению комплексности организации наблюдений и специфике нестандартных полевых работ.

В экспедициях выполняются как систематические наблюдения и работы на постоянных объектах экспедиции, так и эпизодические наблюдения на маршрутах и временных пунктах, предназначенных для увеличения объема поступающей информации в определенные периоды времени. К эпизодическим наблюдениям относятся съемки снежного покрова в конце зимы с одновременным определением запасов влаги в почве и глубины ее промерзания; гидрометрические съемки расходов воды на реках в межень; маршрутные определения объемов воды в понижениях рельефа, определение меток высоких вод паводка текущего года и прошлых лет.

3.1. Выбор объектов воднобалансовых наблюдений

В зависимости от программы воднобалансовых исследований осуществляется выбор района полевых работ, а также водосборов и участков для размещения пунктов наблюдений за элементами водного баланса. В некоторых случаях наблюдения организуются на конкретных, заранее заданных водосборах и участках.

Водосборы для организации наблюдений за элементами водного баланса выбираются по признаку типичности ландшафта

в пределах исследуемого района. Чем сложнее район по физико-географическим, климатическим и гидрогеологическим признакам, тем большее число воднобалансовых объектов необходимо иметь для решения поставленной задачи. Так, для оценки питания грунтовых вод атмосферными осадками в пределах Кустанайской области возникла необходимость выбора шести водосборов и одного речного участка для производства воднобалансовых исследований.

В зависимости от задач исследований выбираются или отдельные водосборы и балансовые участки, расположенные весьма далеко друг от друга, или группы водосборов и участков. В пределах таких групп объекты располагаются близко друг к другу для возможности применения метода сравнения и использования их в экспериментальных целях. Основные требования для выбора экспериментальных объектов кратко изложены в п. 3.14.

Предварительному выбору водосборов и участков предшествует анализ картографического и архивного материала. Для этой цели используются крупномасштабные карты рельефа и аэрофотосхемы, почвенные, геоботанические и гидрогеологические карты, карты атмосферных осадков (жидких и твердых), температуры и влажности воздуха, карты стока за различные сезоны года, сведения о режиме стока и источниках питания.

Выбранные объекты исследований обязательно подвергаются полевой рекогносцировке. Она выполняется отрядом инженерно-технических работников во главе с опытным специалистом гидрологом. В состав отряда должны входить агрометеоролог и гидрогеолог, чтобы комплексно и квалифицированно решить вопрос о размещении всех пунктов наблюдений за элементами водного баланса.

Как показывает опыт, лучшим видом транспорта при выполнении рекогносцировочных работ является легковая автомашина высокой проходимости, а также вертолет.

В перечень приборов и оборудования, необходимых для проведения полевой рекогносцировки, должны быть включены: нивелир, нивелировочная рейка (двухсторонняя), тахиметр, тахиметрические рейки, стальная мерная лента, малогабаритная гидрометрическая вертушка системы Бурцева, позволяющая определять на водотоках с малыми глубинами скорости течения воды непосредственно по прибору, гидрометрическая вертушка Жестовского для измерения скоростей течения на водотоках с большими глубинами, разборные штанги для крепления гидрометрических вертушек, мерные емкости (0,5—10 л) для измерения дебита источников, водомерная рейка, промерный лот, часы, секундомер, компас (буссоль), рабочая крупномасштабная карта и аэрофотосхемы с нагрузкой возможного варианта размещения сети пунктов наблюдений, почвенный бур АМ-26 (2 комплекта), легкий бур «Геолог» с длиной штанги до 10 м, алюминиевые стаканчики (бюксы) для отбора проб на определение водно-фи-

зических характеристик почво-грунтов, фотоаппарат, фотоэкспанометр, водный термометр, барометр-анероид для барометрического нивелирования в полугорной и горной местности, бланковый материал, миллиметровая и картографическая бумага, папки с завязками, карандаши, линейки, надувная резиновая лодка грузоподъемностью не менее двух человек, палатки, спальные мешки, аптечка, ружья с боеприпасами, рыболовные принадлежности, материал для колышков и трафаретов для фиксации местоположения будущей установки (осадкомера, плювиографа, гидрометрического створа, водомерного поста, испарителя, скважин для наблюдений за уровнями грунтовых вод, пунктов для отбора проб почво-грунта на влажность и т. д.).

Количество перечисленных приборов и оборудования находится в зависимости от задачи и объема рекогносцировочных работ и срока их выполнения.

Полевую рекогносцировку лучше выполнять в два выезда. В первый выезд выбирается объект исследований и намечаются пункты наблюдений с закреплением указателями (вехи, колья и проч.) на объекте (водосборе, участке) местоположения снегомерных маршрутов и площадок, гидрометрических створов и водомерных постов, метеостанции, осадкомеров и плювиографов, водноиспарительных площадок, почвенно-испарительных площадок с учетом разнообразия почв и растительности на водосборе, стоковых площадок с учетом различия уклонов, экспозиции склонов и подстилающей поверхности (степь, пашня с разнообразием сельскохозяйственных культур, лес) и почво-грунтов по механическому составу (песок, супесь, суглинок).

Одновременно с выбором и закреплением на местности основных пунктов наблюдений производится корректировка на карте и аэрофотосхеме ориентировочно намеченных пунктов наблюдений за влажностью и промерзанием почво-грунтов, уровнем грунтовых вод и границ сельскохозяйственных угодий.

После утверждения руководством экспедиции местоположения предварительно выбранных объектов производится повторный выезд на объект исследований для окончательного закрепления на местности всех пунктов наблюдений, а также скважин-шурфов для отбора проб почво-грунтов на определение их влажности и водно-физических характеристик и скважин для наблюдений за уровнем грунтовых вод.

Второму выезду на полевую рекогносцировку должен предшествовать тщательный анализ картографического материала и сведений о почво-грунтах и грунтовых водах.

Количество приборов и оборудования, размещаемых на объекте, зависит от программы полевых работ.

Организация наблюдений за элементами водного баланса на выбранных объектах начинается с размещения и оборудования пунктов наблюдений на водосборе (участке).

3.2. Метеорологические наблюдения

Метеорологические наблюдения проводятся как на станциях, так и на отдельных участках изучаемого объекта.

Основной объем наблюдений выполняется на станциях. Разряд станции зависит от объема работ, предусмотренных программой исследований, и назначается в соответствии с Наставлением [55]. Виды и сроки наблюдений в зависимости от разряда станции регламентируются Наставлениями [55, 59].

В комплекс основных метеорологических наблюдений на станциях входят:

- наблюдения за температурой и влажностью воздуха, направлением и скоростью ветра, облачностью, атмосферным давлением, продолжительностью солнечного сияния, видимостью;

- наблюдения за атмосферными осадками, их видом и интенсивностью;

- наблюдения за температурой и глубиной промерзания почвы, высотой снежного покрова на площадке и степенью покрытости снегом окружающей местности, а также измерение высоты и плотности снега на маршрутах.

Кроме этих видов наблюдений в зависимости от решаемых задач исследований экспедиционными метеостанциями могут проводиться актинометрические наблюдения по полной и сокращенной программам [39, 78, 80], наблюдения за испарением с водной поверхности, почвы и снега, за влагозапасами в почво-грунтах, за грунтовыми водами и градиентные метеорологические наблюдения [79].

Разбивка метеоплощадки, установка метеорологических приборов и наблюдения по приборам производятся в соответствии с Наставлением [59].

Количество вновь открываемых станций экспедиции зависит от наличия существующей сети станций в районе исследований и расстояния от них до изучаемого объекта, а также от конкретных задач экспедиционных исследований. Например, в соответствии с программой работ экспедиции в Кустанайской области на воднобалансовых водосборах площадью до 100 км² оборудовалась одна метеостанция, расположенная по возможности в центре водосбора. На орошаемых землях в дополнение к действующим метеостанциям, расположенным на богарных землях (суходолах), организовывались метеорологические наблюдения на орошаемых массивах.

Наоборот, при исследованиях формирования весеннего половодья в бассейнах рек Вятки и Дона густота существующей метеорологической сети полностью удовлетворяла требованиям программы работ.

Если программа исследований предусматривает производство актинометрических наблюдений, то возможно использование данных наблюдений за актинометрическими элементами по

действующим станциям, расположенным на расстоянии до 100 км от изучаемого объекта.

3.3. Наблюдения за осадками

Осадки измеряются на стационарных метеорологических станциях и постах Гидрометслужбы [58], а также на постах экспедиции и в отдельных дополнительных дождемерных пунктах.



Рис. 3. Суммарный осадкомер в степи.

Основным прибором является осадкомер Третьякова. В летний период осадки могут измеряться также дождемерами при почвенных и водных испарителях. На труднодоступных участках водосборов или при значительном удалении осадкомерных пунктов в малообжитой местности допускается применение суммарных осадкометров (например, системы ОСК-1, ОСК-2 и М-70)

и самописцев дождя с длительной записью (с недельной записью) (рис. 3).

Ход осадков в теплый период года записывается плювиографом П-2. Плювиографы устанавливаются рядом с осадкомерами на постах экспедиции и на различных ее объектах (например, у стоковых площадок, на небольших водосборах и т. д.).

Необходимое количество осадкомерных пунктов на водосборах зависит от их площади, формы, расчлененности рельефа и распределения растительного покрова.

Если отношение ширины водосбора к его длине близко к единице, количество осадкомерных приборов назначается в соответствии с данными табл. 3, где приведены сведения о минимально необходимом количестве осадкомеров, позволяющем определять средний за месяц слой жидких осадков для всего водосбора с погрешностью $\pm 10\%$, обеспеченной на 75%. При отношении ширины водосбора к его длине менее 0,5 максимально допустимое расстояние между осадкомерами должно соответствовать данным табл. 4. Эти рекомендации по количеству осадкомеров

Таблица 3

Минимальное число осадкомеров и плювиографов для водосборов различной площади в равнинной территории [80]

Площадь водосбора, км ²	Зона избыточного увлажнения		Зона достаточного увлажнения		Зона недостаточного увлажнения	
	осадкомер	плювиограф	осадкомер	плювиограф	осадкомер	плювиограф
До 0,2	1	1	1	1	1	1
0,2—1	1—2	1	2	1	2	2
1—10	2—3	2—3	3	2—3	4	2—3
10—30	4	3	5	3	6	3—4
30—100	6	3	7	4	8	4
100—300	8	4	10	5	12	6
300—1000	10	5	13	6	16	8

Таблица 4

Максимально допустимые расстояния между осадкомерами (км) на водосборах удлиненной формы [80]

Площадь водосбора, км ²	Зона увлажнения		
	избыточного	достаточного	недостаточного
0,2—1	0,5	0,5	0,5
1—10	2,0	1,8	1,5
10—30	3,0	2,5	2,0
30—100	4,0	3,7	3,5
100—300	6,0	5,5	5,0
300—1000	10,0	9,0	8,0

и плювиографов относятся к небольшим водосборам, на которых проводится детальное изучение водного баланса и формирования дождевого (ливневого) стока. В зимний и переходные периоды года, а также при изучении формирования стока весеннего половодья число осадкомерных пунктов может быть сокращено примерно в 2—2,5 раза.

Более подробные рекомендации по размещению осадкомеров и плювиографов на площадях до 1000 км² приводятся в монографии [68].

Для водосборов с площадью более 1000 км², расположенных в районах избыточного и достаточного увлажнения, величина ошибки в 10% для месячной суммы жидких осадков гарантируется в 75% случаев при следующем примерном количестве осадкомеров: 5 осадкомеров — на 2000 км²; 7 осадкомеров — на 5000 км²; 10 осадкомеров — на 10 000 км² и 20 осадкомеров на 50 000 км² (В. С. Голубев [37]). Для районов недостаточного увлажнения количество осадкомерных пунктов для таких площадей должно быть увеличено примерно в 2 раза. Отметим, однако, что эти рекомендации по густоте осадкомерной сети весьма приближенные, так как изучение неравномерности выпадения осадков производилось ранее на сравнительно небольших площадях.

Размещать осадкомерные пункты на водосборах следует таким образом, чтобы площади участков, к которым относятся данные каждого осадкомера, были по возможности близки между собой.

Если на небольшом водосборе намечен один осадкомерный пункт, его нужно располагать в центральной части водосбора, а если организуются два пункта, один из них размещается в середине верхней части водосбора, другой — в середине нижней.

При наличии на водосборе лесных массивов число и размещение осадкомерных пунктов определяется отдельно для полевой и лесной частей с учетом данных табл. 3.

В условиях резко пересеченного рельефа местности число пунктов измерения осадков должно быть увеличено. Пункты располагаются в наиболее пониженных и наиболее возвышенных участках водосбора, а также на склонах различной экспозиции. При перепаде высот более 500 м осадкомерные пункты необходимо устанавливать в нижней, средней и верхней частях склона.

В связи с тем что осадкомерные приборы недоучитывают некоторое количество осадков (особенно в зимнее время) вследствие влияния скорости ветра, при выборе местоположения осадкомерных приборов следует отдавать предпочтение наиболее защищенным от ветра участкам. Наилучшим участком является массив кустарника размером более 100×100 м и высотой 2—6 м. Приборы устанавливаются в центре такого массива или не ближе 50 м от его опушки. Кустарник в радиусе 5 м от прибора должен быть или вырублен полностью, или срезан на уровне приемной поверхности осадкомера (рис. 4). Если около предпола-

гаемого месторасположения осадкомерного пункта нет кустарника, приборы можно установить в саду, лесу и на лесной поляне. В этом случае прибор необходимо удалить от окружающих предметов на расстояние не меньше трехкратной их высоты и сохранить примерно одинаковое ветровое затенение его со всех сторон.

Следует, однако, избегать установку приборов на небольших полянах (шириной до 100 м), окруженных высокоствольным хвойным лесом, а также на больших полянах (шириной более

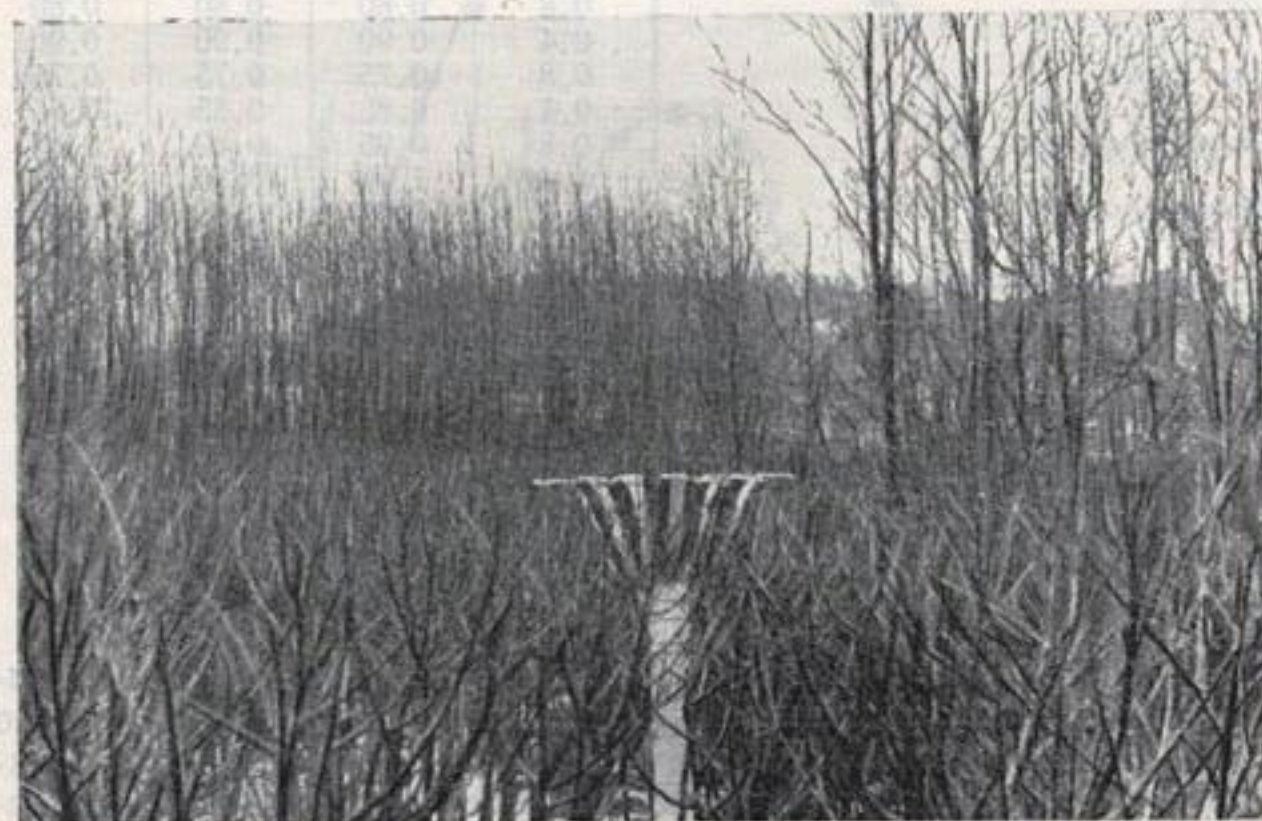


Рис. 4. Осадкомер Третьякова в кустарниковой защите.

200 м). В первом случае (табл. 5) осадкомеры могут давать преувеличенное на 10—20% количество твердых осадков,¹ а во втором — преуменьшенное из-за наличия ветра.

Для территорий, где не удастся подобрать защищенные от ветра участки, можно рекомендовать устройство двойной заборной защиты вокруг осадкомера (рис. 5). Забор делается из штакетника (досок) или прутьев, укрепленных на высоте 1 м от поверхности земли. Высота внешнего кольца заборной защиты составляет 2,5 м, а внутреннего — 2 м. Подробное описание заборных защит осадкомера и эффективности их действия дается в ряде работ В. С. Голубева [13, 14] и, в частности, в работе [38] на с. 267—276.

Подобрать хорошо защищенные от ветра места для устройства всех осадкомерных пунктов очень трудно, поэтому исходя

¹ Эти данные нуждаются в дальнейшем подтверждении.

Таблица 5

Соотношение осадков, достигающих поверхности почвы и выпадающих над лесом [31]

Вид лесонасаждений	Средняя полнота спелого леса	Соотношение осадков		
		холодный период	теплый период	за год
Ель	0,8	0,75	0,75	0,75
	0,4	0,80	0,80	0,80
Сосна	0,8	0,80	0,80	0,80
	0,4	0,90	0,90	0,90
Ель, сосна	0,8	0,75	0,75	0,75
	0,4	0,85	0,85	0,85
Смешанный	0,8	0,95	0,80	0,85
	0,4	1,00	0,85	0,90
Лиственный	0,8	1,00	0,85	0,90
	0,4	1,00	0,90	0,93
Кустарник лиственный и хвойный	1,0	0,95	0,80	0,85
Лес в возрасте до 15 лет	0,5	1,00	0,85	0,90
Редколесье (смешанный лес) и облесенные болота с угнетенной формой развития леса	0,1—0,3	1,00	0,95	0,97
Поляны небольших размеров среди высокоствольного хвойного леса	—	1,1—1,2	1,00	1,05
Поляны небольших размеров среди изреженного лиственного леса	—	1,00	1,00	1,00

из практики работ экспедиций можно рекомендовать ограничиться установкой защищенных от ветра осадкомеров только в нескольких пунктах. При этом недалеко от защищенного осадкомера необходимо установить осадкомер на совершенно открытой для ветра местности. При наличии таких пар осадкомеров (открытый и защищенный) могут быть определены поправки на влияние ветра на величины осадков для незащищенных осадкомеров. Эти поправки могут быть распространены на все осадкомеры экспедиции, установленные на совершенно открытых для ветра участках.

Обычно в величины измеренных осадков вводятся поправки, определяемые по скорости ветра и другим метеорологическим данным в соответствии с действующими указаниями и инструкциями, которые постоянно совершенствуются и обновляются. Отметим, что во избежание субъективности в определении поправок к осадкам на влияние ветра (а это самая большая поправка) фактическая скорость его должна определяться путем измерения у осадкомера на высоте 2 м. Для этого в различные сезоны года необходимо эпизодически измерять скорость ветра у каждого осадкомера синхронно с наблюдениями на основной метеорологической площадке. По данным этих измерений устанавливаются связи между скоростью ветра на метеорологической площадке и в осадкомерном пункте на высоте 2 м, которые

используются в дальнейшем при определении поправок, обусловленных влиянием ветра.

Следует указать, что наилучшими осадкомерными приборами для измерения жидких осадков в теплый период года являются дождемеры, входящие в комплект почвенных и водных испарителей. Однако эти дождемеры совершенно неприменимы для

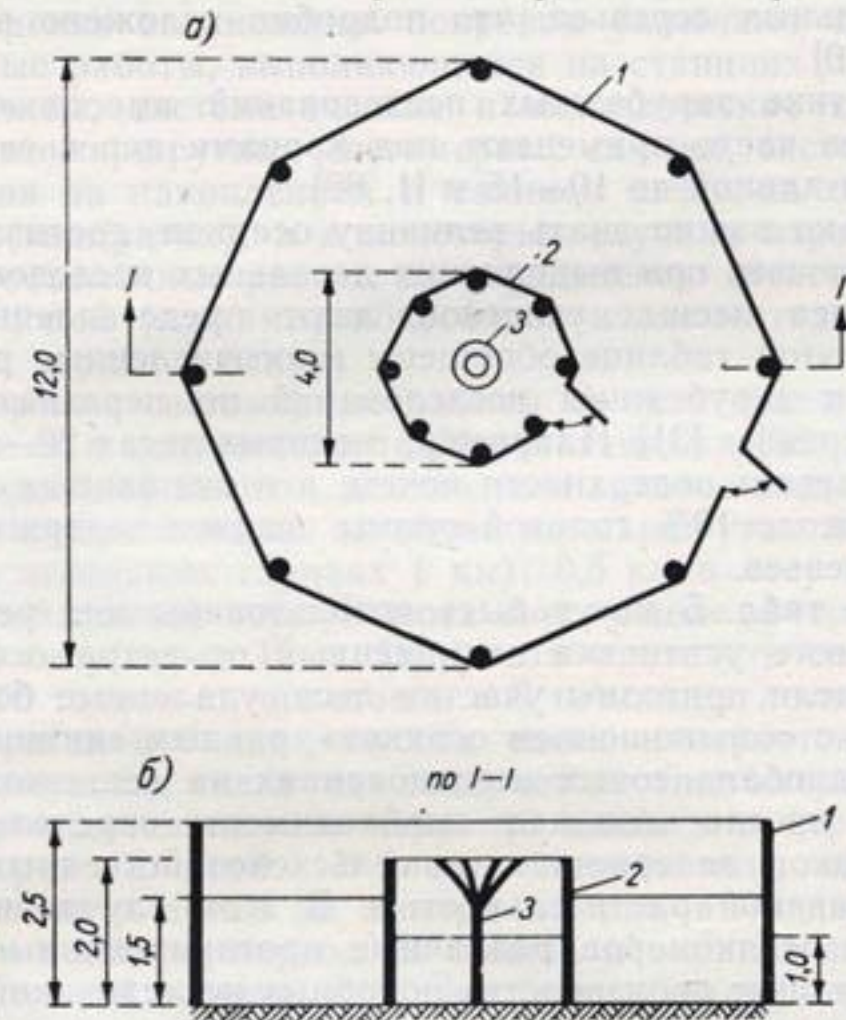


Рис. 5. Схематический план (а) и разрез по 1—1 (б) двойной заборной защиты осадкомера.

1 — наружная защита; 2 — внутренняя защита; 3 — осадкомер.

измерения твердых и смешанного вида осадков, так как приемные части их располагаются вблизи поверхности почвы. Такие дождемеры необходимо защищать от повреждений. Правила установки дождемеров и работы с ними изложены в Руководстве [74].

Наблюдения за осадками проводятся, как правило, 2 раза в сутки (в 8 и 20 ч местного времени). При обслуживании одним наблюдателем нескольких пунктов наблюдения производятся со сдвижкой сроков для отдельных пунктов в интервале времени не более 2 ч (с 7 до 9 ч и с 19 до 21 ч).

На удаленных осадкомерных пунктах, а также в зимний период наблюдения можно проводить 1 раз в сутки в утренний срок.

На лесных воднобалансовых участках основной осадкомерный пункт располагается на поляне или небольшой вырубке, находящейся вблизи участка. Для учета осадков, достигающих поверхности земли, на участке дополнительно устанавливается от 15 до 20 осадкомеров. Они могут быть размещены либо по принципу случайного их распределения, либо на основании выбора модельных деревьев, что подробно изложено в монографиях [68, 80].

В практике зарубежных исследований вместо «точечных» осадкомеров часто применяют под кронами деревьев лотковые дождемеры длиной до 10—15 м [1, 68].

Насколько важно знать величину осадков, достигающих поверхности почвы, при выполнении детальных исследований водного баланса лесных участков, дают представление данные табл. 5. В этой таблице обобщены многочисленные результаты советских и зарубежных исследований по перехвату осадков кронами деревьев [31]. Например, в еловых лесах 20—25% осадков не достигает поверхности почвы, а в смешанных лесах полнотой 0,4 около 10% годовой суммы осадков задерживается на кронах деревьев.

Данные табл. 5 могут быть использованы для решения вопроса о месте установки защищенных от ветра осадкомеров. Для этой цели пригодны участки леса, удаленные более 200 м от опушек, с «соотношением осадков», равным единице.

При воднобалансовых исследованиях на сельскохозяйственных полях иногда возникает необходимость определения количества осадков, задерживаемых сельскохозяйственными культурами и травяной растительностью. В этом случае используют в качестве осадкомеров различные протарированные стаканы. Методика и опыт производства подобных исследований подробно изложены в книге [1].

3.4. Наблюдения за снежным покровом

Наблюдения за снежным покровом на экспедиционных объектах могут производиться с целью:

а) получения данных о снегозапасах, необходимых для выполнения воднобалансовых расчетов в зимний и весенний периоды года, а также для оценки результатов наблюдений за осадками, получаемыми на сети станций и постов Гидрометслужбы и эталонировки новых методов снегомерных съемок (гамма-съемки снежного покрова походным прибором, с самолета, съемки со спутников);

б) определения к началу весеннего снеготаяния максимальных запасов воды в снежном покрове (включая воду, содержащуюся в ледяной корке на почве и под снегом), степени покры-

тия водосборов снегом, ледяной коркой на почве, запасов воды на различных ландшафтах — элементах рельефа и видах угодий;

в) получения данных о характере и динамике снегонакопления и снеготаяния, необходимых для анализа условий формирования элементов водного баланса и, главным образом, стока на различных водосборах.

Наблюдения за снежным покровом включают стандартные снегомерные работы, выполняющиеся на станциях и постах Гидрометслужбы, систематические и эпизодические сплошные и ландшафтно-маршрутные снегомерные съемки, систематические наблюдения за накоплением и таянием снега на снегомерных участках (квадратах), и в некоторых случаях аэровизуальные и аэрофотосъемочные работы по определению степени покрытия снегом и водой (лужами) водосборов и элементов ландшафта (поле, лес, овраги и балки).

Стандартные снегомерные работы на сети станций и постов производятся в соответствии с Наставлениями [58, 59] и включают определение высоты, плотности и запасов воды в снежном покрове и ледяной корке на почве на маршрутах длиной 2 км в поле (в отдельных случаях 1 км); 0,5 км в лесу и до 0,5 км в овражно-балочной сети. Высота снега в поле измеряется через 20 м, а в лесу через 10 м. При этом плотность снега определяется в 10 точках на полевом и в 5 точках на лесном маршрутах. В оврагах и балках высота снега измеряется через 5—10 м, а плотность снега не измеряется. Снегомерные съемки в поле проводятся обычно через 10 дней, а в период таяния снега — через 5 дней. В лесу снегосъемки выполняются 1 раз в месяц, а после 20 января — 1 раз в 10 дней и через 5 дней — в весенний период. В балках и оврагах высота снега определяется 20 января и 20 февраля и далее через каждые 10 дней до начала снеготаяния.

Сплошные снегомерные съемки в экспедициях предусматривают равномерное измерение снежного покрова на всей площади водосбора или участка (площадки). Съемки проводятся на всех стоковых и воднобалансовых площадках и небольших водосборах размером 10—100 км². По специальным программам сплошные съемки могут проводиться на водосборах с площадью до 20 000 км². При этих съемках маршруты пересекают водосбор между его водоразделами и располагаются примерно на одинаковом расстоянии друг от друга.

На стоковых площадках в зависимости от их длины назначается от 4 до 10 равноудаленных друг от друга снегомерных линий [80]. Высота снега в зависимости от ширины площадок измеряется через 1—5 м с таким расчетом, чтобы определить неравномерность залегания снега в пределах площадки. Плотность снега измеряется с двукратной повторностью в четырех точках на малых (10×20 м) и в десяти точках на больших площадках (20×100 м и больше).

На небольших водосборах (площадью до 100 км²) число линий сплошной съемки назначается с учетом формы водосбора: от трех линий для округлого и до шести — для вытянутого. Суммарная длина линий принимается равной примерно трехкратной средней ширине водосбора округлой формы, при удлиненной форме — пятикратной его ширине. Расстояние между точками измерений высоты и плотности снега обычно принимается с учетом суммарной длины линий, пересекающих водосбор (табл. 6). Плотность снега в точке определяется с однократной повторностью.

Таблица 6

Примерные расстояния между точками измерений высоты и плотности снега на маршрутах сплошных съемок [80]

Общая длина снегомерных линий на водосборе, км	Расстояние между точками измерений, м	
	высоты снега	плотности снега
До 0,2	2	20
0,2—0,5	2—5	20—50
0,5—1,0	5—10	50—100
1—5	10	100
5—10	20	200
10—20	20	400
20—50	20	500
50 (при специальной съемке)	20—50	500

В овражно-балочной сети, пересекаемой снегомерными линиями сплошной съемки, расстояния между точками измерений высоты снега уменьшается в 2 раза. При этом в книжку наблюдений записывается одна средняя высота снега из двух измерений. Также поступают при пересечении снегомерными линиями лесных полос, опушек леса, дорог и окраин населенных пунктов. Плотность снега на всех этих элементах ландшафта измеряется обязательно (с однократной повторностью).

Сплошные снегомерные съемки на малых водосборах (площадью до 10 км²) обычно проводятся один раз в конце каждого месяца, перед началом снеготаяния, а в период снеготаяния — один раз в 5 дней. На более крупных водосборах такие съемки проводятся, как правило, только перед началом весеннего снеготаяния.

По мере накопления материалов по снегозапасам целесообразно производить сравнение средних снегозапасов на отдельных линиях и для всего водосбора для выяснения возможности сокращения объема снегомерных наблюдений, т. е. сокращения числа линий или разряжения точек измерений на линиях.

Ландшафтно-маршрутные снегомерные съемки в экспедициях проводятся с целью:

— надежного определения снегозапасов на основных элементах ландшафта (поле, лес, овражно-балочная сеть), а также среднего взвешенного запаса воды в снеге на водосборе;

— изучения влияния на величину снегозапасов различных условий, включая хозяйственную деятельность человека.

Длина и число маршрутов, а также расстояния между точками измерений и сроки производства наблюдений определяются поставленными задачами.

Наиболее часто ландшафтно-маршрутные снегомерные съемки применяются для определения снегозапасов на водосборах с площадями больших размеров. Длина маршрутов при этом не должна быть меньшей, чем при стандартных снегомерных съемках. Наиболее целесообразно иметь маршруты следующей длины: в поле — 3 км, в лесу — 1 км и в овражно-балочной сети — от 0,5 до 1 км, с измерением высоты снега через 20 м в поле, через 10 м — в лесу и через 5 м — в оврагах и балках. Плотность снега определяется с однократной повторностью в каждой десятой точке измерения высоты снега, включая овраги и балки. В некоторых случаях общая длина ландшафтных маршрутов может достигать 10—30 км.

Все маршруты снегомерных съемок должны быть заранее нанесены на крупномасштабные карты и планы местности, иметь ориентиры относительно населенных пунктов, дорог, холмов, гидрографической сети и лесных колков и закреплены на местности знаками (вехи, пометки на деревьях и линиях электропередач и проч.). Не закрепляются на местности лишь маршруты большой протяженности, особенно при специальных одноразовых съемках.

Снегомерные наблюдения на маршрутах сплошных и ландшафтных съемок выполняются обязательно двумя сотрудниками экспедиции, хорошо усвоившими инструкцию по технике безопасности снегомерных работ и имеющими, согласно этой инструкции, соответствующий запас инвентаря, продовольствия и одежды. В каждый зимний сезон руководство экспедиции разрабатывает схемы доставки сотрудников на маршруты и их сбора после выполнения снегомерной, средства сигнализации и формы отдачи распоряжений и предусматривает меры по срочному сбору с маршрутов участников снегомерных съемок, например, в случае резкого усугубления погоды. Эти мероприятия доводятся до сведения каждого сотрудника экспедиции перед началом снегомерных работ.

Для доставки сотрудников на маршруты и особенно для сбора их после завершения очередной снегомерной съемки используется местный транспорт, автомашины и вездеходы экспедиции и арендуются вертолеты и самолеты. Для контроля за выполнением снегомерных съемок и оказания срочной помощи необходимо арендовать на период снегомерных съемок вертолет и самолет, и иметь резервную дежурную группу опытных сотрудников экспедиции.

Необходимость четкой организации проведения всего комплекса снегомерных работ диктуется тем обстоятельством, что все виды снегомерных съемок проводятся одновременно на всех изучаемых объектах в течение 2—3 дней, при этом участвует почти весь наличный персонал экспедиции. Таким образом, снегомерные съемки являются наиболее ответственным видом одновременно проводимых работ на большой территории и успех их выполнения зависит в основном от степени подготовленности всего состава экспедиции к работам при различных погодных условиях.

Правила производства снегомерных съемок, записей результатов наблюдений и их обработки подробно изложены в ряде Наставлений и Руководств [58, 59, 77, 88].

Наблюдения за накоплением и таянием снега на снегомерных участках (квадратах) производятся по 16—20 постоянным снегомерным рейкам в соответствии с методическими пособиями [46, 53, 77]. Рейки устанавливаются на участке 20×20 м (16 реек) или 30×10 м (20 реек). Расстояние между каждой рейкой и между рядами реек 5 м (см. рис. 16).

Снегомерные участки располагаются на ровном месте, на склонах разных экспозиций и в лесу и предназначаются в основном для определения суточных величин интенсивности снеготаяния и водоотдачи из снега в весенний период и во время зимних оттепелей. В период снеготаяния наблюдения проводятся один раз в сутки утром (6—8 ч), а при интенсивном адвективном снеготаянии — утром и вечером; в зимний безоттепельный период — 1 раз в 10 дней.

В состав наблюдений входит измерение высоты снега по рейкам и плотности снежного покрова и ледяной корки на почве с двукратной повторностью в четырех точках, расположенных по углам снегомерных участков. Данные этих наблюдений очень эффективны для расчета суточных величин водоотдачи из снега на объектах экспедиции путем интерполяции суммарной убыли снегозапасов (за 5 суток), определяемой по маршрутным снегомеркам.

Одновременно с проведением снегомерных наблюдений на участках снеготаяния определяется визуально (в баллах) степень покрытости снегом видимой окрестности в поле и лесу, состояние снега (рыхлый, плотный, сухой с настом, проталины: нет, мало, много). В точках измерения плотности отмечается состояние поверхности почвы (мерзлая, талая, покрыта водой).

Поскольку наблюдения за степенью покрытия местности снежным покровом характеризуют лишь отдельные, небольшие по площади участки, то при исследованиях условий формирования стока весеннего половодья часто бывает необходимо определять динамику схода снега с отдельных видов ландшафтов и крупных водосборов. Это может быть выполнено путем аэро-

визуальных и аэрофотометрических съемок. Одновременно должны определяться степень покрытия полей и лесов водой (лужами) и развитие паводочного стока в первичной гидрографической сети и в руслах рек. Дополнительно может быть собран материал по эрозии почв (развитие эрозионных борозд на сельскохозяйственных полях в зависимости от механического состава почв), о состоянии обработки почвы (зябь, озимь, стерня), об уклонах местности с определением мест отложений продуктов эрозии (конусы выноса).

Целесообразно выполнять облеты по одним и тем же маршрутам. Это дает возможность производить сопоставления в прошедших изменениях за период между полетами, а также определять различия в формировании половодья данного года с предшествующими годами.

Наиболее простым способом является аэровизуальное определение всех интересующих характеристик. Степень достоверности получаемых результатов определения процента покрытия местности снегом и водой, по-видимому, не уступает данным аэрофотоснимков, так как окончательная обработка последних выполняется обычно визуальным путем, т. е. по зрительному впечатлению определяется процент покрытия (снегом, водой). Инструментальное определение этих характеристик по аэрофотоснимкам крайне трудоемко и вряд ли может охватить все мельчайшие площади, занятые снегом, проталинами с водой на почве. На рис. 6 представлен снимок с самолета, характеризующий пятнистое залегание снежного покрова на площади 6 км^2 . Аналогичную картину видит бортовой наблюдатель при высоте полета 200 м. Поскольку смена картин местности происходит не быстро (3 км пути за 1 минуту), то наблюдатель успевает внимательно рассмотреть всю местность и сделать соответствующие записи.

Практика работ показывает, что наиболее целесообразно выполнять аэровизуальные определения двумя наблюдателями одновременно (с правого и левого бортов самолета или вертолета) с производством записей результатов наблюдений синхронно через каждые 5 мин полета. Таким образом, записываются осредненные по 10—15-километровым отрезкам маршрута данные (в процентах) о покрытии местности снегом, водой и о состоянии развития паводка в первичной и русловой сети. Опытные наблюдатели фиксируют также фазу развития паводка (подъем уровня или спад) по косвенным признакам, которые оставляет вода на берегах, поймах и снеге. Кроме того делаются записи о видовом составе и полноте леса.

Наблюдатель (правого и левого борта) видит всю ситуацию в полосе шириной 2 и 1,5 км при полете соответственно на высоте 200 и 150 м.

В состав группы, кроме двух наблюдателей, должен входить инженер гидролог (штурман) для привязки результатов

наблюдений к местности и направления полета по заданному маршруту.

После завершения полета по 5-минутным интервалам осредняются данные наблюдений с правого и левого бортов самолета. На эту обработку обычно затрачивается не более 2 ч рабочего времени.

За один облет на самолете АН-2 можно получить сведения по маршруту протяженностью до 1000 км, а на вертолете МИ-1 — до 700 км. Следовательно, за 10—12 рабочих часов можно получить полностью обработанные сведения по 50—

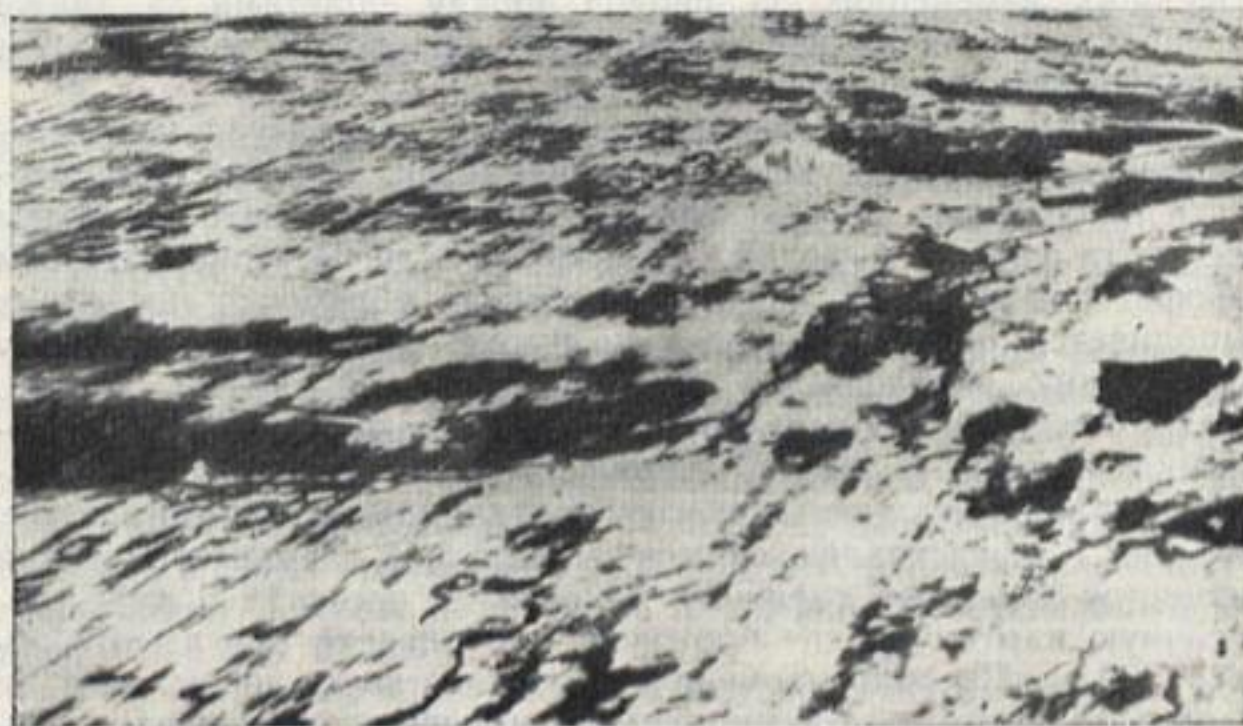


Рис. 6. Покрытость местности снегом на 65% в момент снеготаяния.

70 участкам площадью по 60 км², что равносильно результатам аэрофотосъемки на площади 3000—4000 км². На обработку последней будет затрачено много месяцев.

Преимущество аэровизуальных определений перед аэрофотосъемками заключается еще и в том, что последние почти не дают возможности определять степень покрытости местности водой (лужами) и фазы развития паводка.

3.5. Гидрологические наблюдения

К этому виду наблюдений при воднобалансовых исследованиях относятся:

— наблюдения за уровнями и измерение расходов воды (стока) на реках, ручьях, временных водотоках, в каналах и коллекторах оросительной и осушительной сети;

— измерение стока со склонов на стоковых и воднобалансовых площадках;

— измерение уровней и объемов воды в озерах, прудах и водохранилищах;

— наблюдения за температурой воды, толщиной льда, химическим составом и мутностью воды — эти виды наблюдений являются обычно сопутствующими и, как правило, выполняются в соответствии с наставлениями, указаниями и руководствами (см. список литературы).

Выбор объектов наблюдений производится в соответствии с целевым их назначением, отвечающим программе и задачам исследований. Поэтому предварительно составляется желаемый перечень объектов и их характеристик. Затем, используя крупномасштабные карты и схемы местности, определяют возможное местоположение объектов исследований и гидрометрических створов и проводят полевое обследование их (см. п. 3.1).

Оборудование водомерных и гидрометрических створов производится в соответствии с их типами. Этому предшествует полунструментальная или инструментальная съемка выбранных участков.

Основные данные по водотокам, на которых предусмотрена организация гидростворов, записываются в сводную таблицу (табл. 7). Таблица обычно составляется после полевого рекогносцирования. Графы 2—6 заполняются по данным крупномасштабной карты, графы 5—8 — по данным полевого обследования. Максимальные расходы воды 1 и 3%-ной обеспеченностей (графы 9 и 10) могут быть вычислены по аналогии с расходами действующих стоковых пунктов на данной реке и соседних реках или по рекомендуемому в справочниках «Ресурсы поверхностных вод СССР» и нормативных указаниях [82] расчетным схемам для неизученных рек. На основании вычисленных возможных значений максимальных расходов воды предусматривается (графа 11) наиболее рентабельный тип гидрометрического устройства (ездовой трос с устоями по регулированию высоты троса, гидрометрический мостик, гидрометрический лоток и водосливы с различным углом выреза и различным напором воды).

Для строительства гидрометрических установок с учетом всех требований при строительном проектировании и на основании документов полевого обследования изготавливаются следующие рабочие чертежи:

1) поперечные профили русла (не менее трех) на участке сооружения длиной, соответствующей пятикратной ширине русла;

2) гидрогеологический профиль на том же участке с подробным описанием почво-грунтов и характеристиками по их механическому составу; сведения о наличии подрусловых вод;

3) продольный профиль русла на участке гидроствора;

Таб

Основные данные по водотокам, на которых

№ створа	Река	Местоположение створа	Площадь водосбора, км ²	Уклон по тальвегу на участке, ‰	Угодья, % от площади водосбора
1	2	3	4	5	6
1. Бассейн					
1	Балка Целинная	В 1 км выше пос. Новый	49,6	6,6	Целина 88% Пашня 12%
2	Лог Приусадебный	В 500 м от устья лога Целинного	2,17	10,8	Целина 68% Пашня 32%
2. Бассейн					
3	Балка Пахотная	В 740 м выше впадения лога Шолак-Терек	127	9,0	Целина 17% Пашня 83%
6	Лог Ящерицын	В 500 м от устья в 40 м ниже грунтовой дороги	0,70	22,0	Пашня 100%

4) крупномасштабный схематический план водосбора с расположением всех угодий.

Выбор наиболее рационального типа гидрометрического устройства, оборудования гидрометрического створа и водомерного поста и оснащения его самописцем уровня производятся в соответствии с рекомендациями и указаниями, изложенными в наставлениях [54, 60] для больших и малых рек, а также в руководствах [68, 72, 80].

При выборе типа гидрометрического устройства прежде всего руководствуются надежностью его работы в данных конкретных условиях, обеспечивающей наиболее высокую точность учета стока. Должно быть также предусмотрено удобство эксплуатации сооружения: отопление на зимний период, расчистка от снега водоподводящего и особенно отводящего участков русла, проведение тарировок и проч. Как правило, капитально выполненные дорогостоящие гидрометрические сооружения (водосливы, лотки, пороги-контроли, контрольные сечения русла) оправдывают себя вследствие сокращения рабочего времени и денежных средств, затрачиваемых на эксплуатацию сооружения и достижения надежного учета стока. В последующем капитальные сооружения могут быть переданы управлениям гидрометслужбы для дальнейших наблюдений за стоком.

Однако в экспедиционных условиях часто целесообразно использовать наиболее простые по исполнению гидрометрические сооружения и гидростворы (рис. 7, 8).

лица 7

проектируется оборудование гидростворов

Растительность	Преобладающий состав почво-грунтов	Рассчитанные расходы воды (м ³ /с), обеспеченностью		Тип гидрометрического устройства
		1%	3%	
7	8	9	10	11
балки Целинной				
Типчак, ковыль, полынь и сельскохозяйственные культуры	Суглинки средние	38	27	Гидрометрический мостик
	Супесь	4,1	3,1	Лоток в комбинации с водосливом
балки Пахотной				
Сельскохозяйственные культуры	Суглинки средние	62	43	Оборудуется ездовым тросом и устоями по регулированию высоты троса
	Суглинки легкие	0,8	0,6	Треугольный водослив с углом выреза 90°

Следует особо подчеркнуть на необходимость проведения тарировок всех гидрометрических сооружений, как бы они не были тщательно выполнены.

Выбору и проектированию стоковых и воднобалансовых площадок обычно предшествует подробная топографическая и почвенная съемка участка склона площадью, в 1,5—2 раза превышающей размеры проектируемой площадки. Площадь съемки зависит от размеров выбранной площадки, рельефа и уклонов склона. При наличии больших неровностей и малых уклонах площадь съемки увеличивается.

Проектируемые стоковые площадки в зависимости от их целевого назначения и местных условий могут иметь размеры от 0,01 до 20—25 га [80]. В условиях сухого климата размеры площадок обычно увеличиваются. Так, в районах степного ландшафта с уклонами склонов менее 10‰ целесообразно оборудовать площадки больших размеров (2—25 га), при этом площадь топографической съемки может лишь немного превышать размер проектируемой площадки. Контуры площадки сначала вычерчиваются на плане съемки с учетом горизонталей, а затем закрепляются на местности. Количество площадок на водосборе определяется условием охвата основных ландшафтных угодий, влияющих на формирование склонового стока (характерные уклоны склонов, различие почв и растительности), а также от задач исследований.

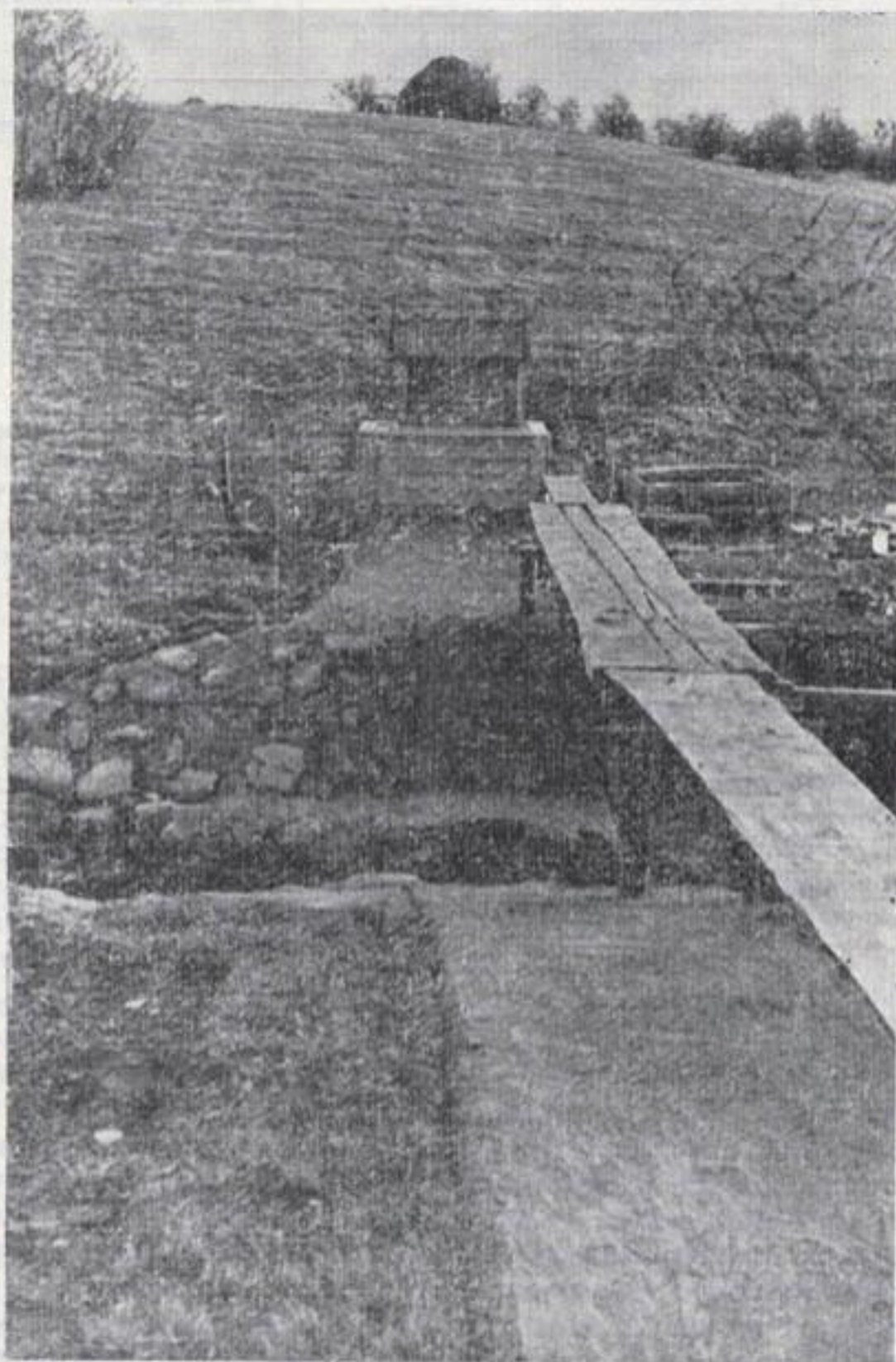


Рис. 7. Искусственное сужение русла для измерения расходов воды вертушкой.

Основные сведения о проектируемых стоковых площадках приводятся в табличной форме. Эти данные, дополненные планом участка стоковых площадок (рис. 9) и результатами расчетов максимальных расходов при склоновом стекании, являются основным документом для оборудования стоковых площадок.

Расчет максимальных расходов со склонов выполняется по расчетной схеме (формуле) для очень малых водосборов, рекомендуемой в справочниках по водным ресурсам (ч. 3) и в Руководстве воднобалансовым станциям [80]. В последнем приведена

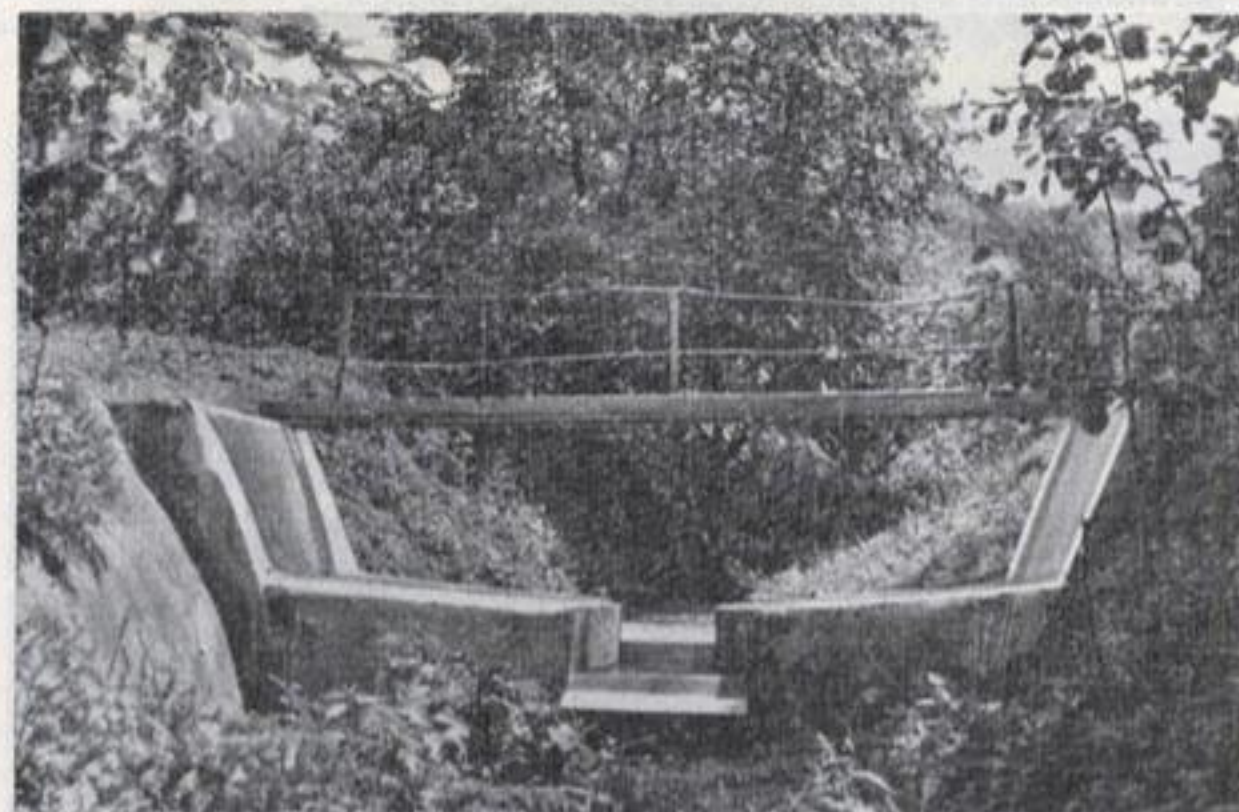


Рис. 8. Порог — контроль в комбинации с гидрометрическим лотком.

также формула для расчета водопропускной способности водоподводящих к измерительному устройству лотков (их размеры).

Объем работ по оборудованию стоковых площадок включает в себя оборудование водоизолирующих бортиков (валиков) и измерительных устройств.

В существующих руководстве [80] и указаниях [51] подробно описано оборудование стоковых и воднобалансовых площадок применительно к стационарным исследованиям. В экспедиционных условиях устройство таких площадок не всегда оправдывается экономическими соображениями.

Опыт экспедиционных работ свидетельствует о том, что устройство стоковых площадок значительно упрощается, если водораздельные бортики делать земляными. Это позволяет экспериментировать на площадках влияние на склоновый сток тех агротехнических приемов в обработке почвы, которые применяются

на данном поле, не создавая технических трудностей при механизированной обработке почвы. Земляные валики создаются сразу после агротехнической обработки поля опашиванием земли по контуру площадки двухлемешным плугом с отвалом в сторону площадки. В верхней части площадки создается второй земляной валик, отводящий воду, стекающую со склона выше площадки и предохраняющий, таким образом, от размыва водораздельные бортики (см. рис. 9).

Опашивание двухлемешным плугом желательно производить с установленным на нем увеличенным отвалом.

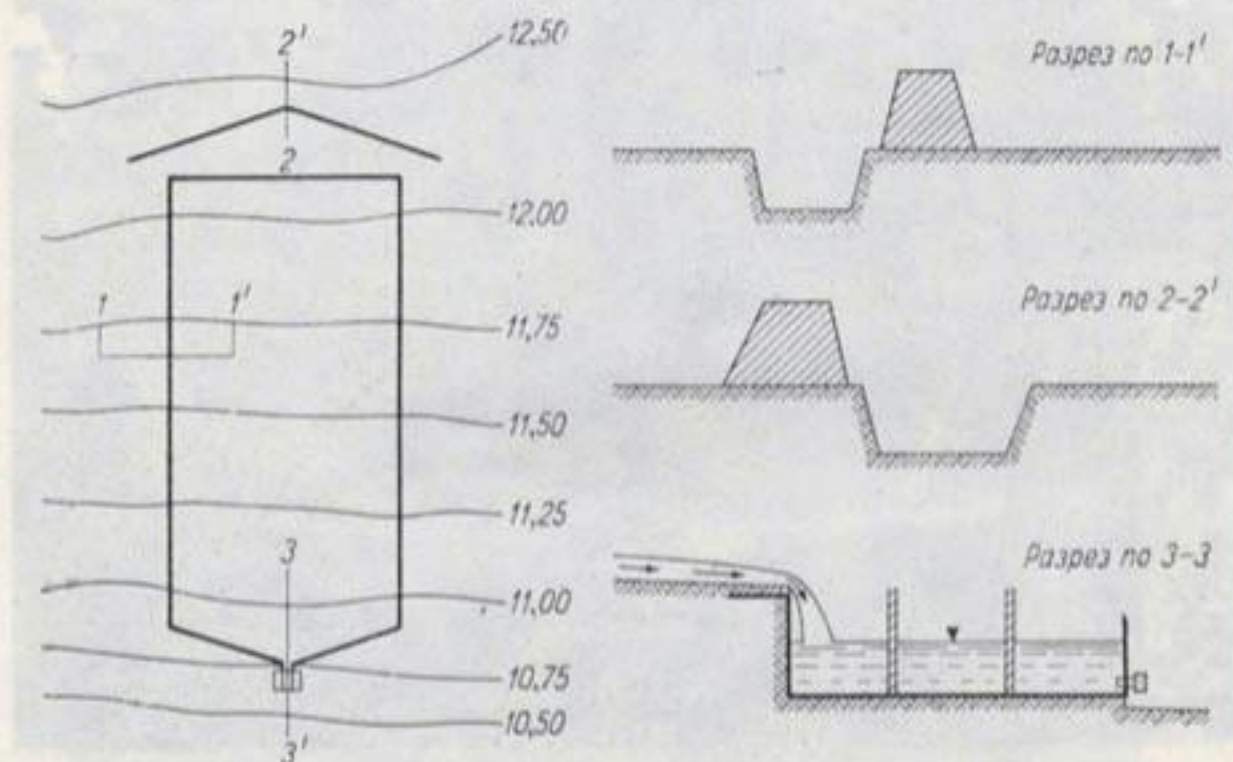


Рис. 9. План стоковой площадки, поперечные и продольные разрезы водораздельных и измерительного устройств.

Поделка вала осуществляется двумя проходами агрегата с таким расчетом, чтобы пласт отваливался внутрь площадки, причем при втором проходе трактор правой гусеницей уплотняет вал перед вторичным досыпанием, что способствует более надежной изоляции стоковых площадок. После опашивания земля на отвале утрамбовывается и в отдельных микропонижениях (места аккумуляции талых и дождевых вод) высота валиков увеличивается до 50—60 см, вместо средней высоты 30 см.

Конструкция (тип) измерительного устройства для учета стока зависит от размеров площадки. Для малых площадок (0,2—1,0 га) может быть использован мерный бак в комбинации с водосливом и самописцем уровня, для площадок средних размеров (1,5—5 га) — треугольный (90°) водослив с самописцем и для площадок больших размеров (5—10 га) — канализирован-

ное водоотводящее русло с гидрометрическим лотком и мостиком для измерения стока малогабаритной гидрометрической вертушкой. Конструкция возможного измерительного устройства схематически показана на рис. 10. Все мерные баки и измерительные водосливы должны быть тщательно протарированы в соответствии с рекомендациями [60, 80].

На озерных воднобалансовых бассейнах, кроме устройства измерительных пунктов на склонах водосбора и на водотоках, впадающих в озера (пруды, водохранилища), оборудуются озерные водомерные посты для измерения уровня и температуры воды у берега. Инструментальная съемка участка поста и обо-

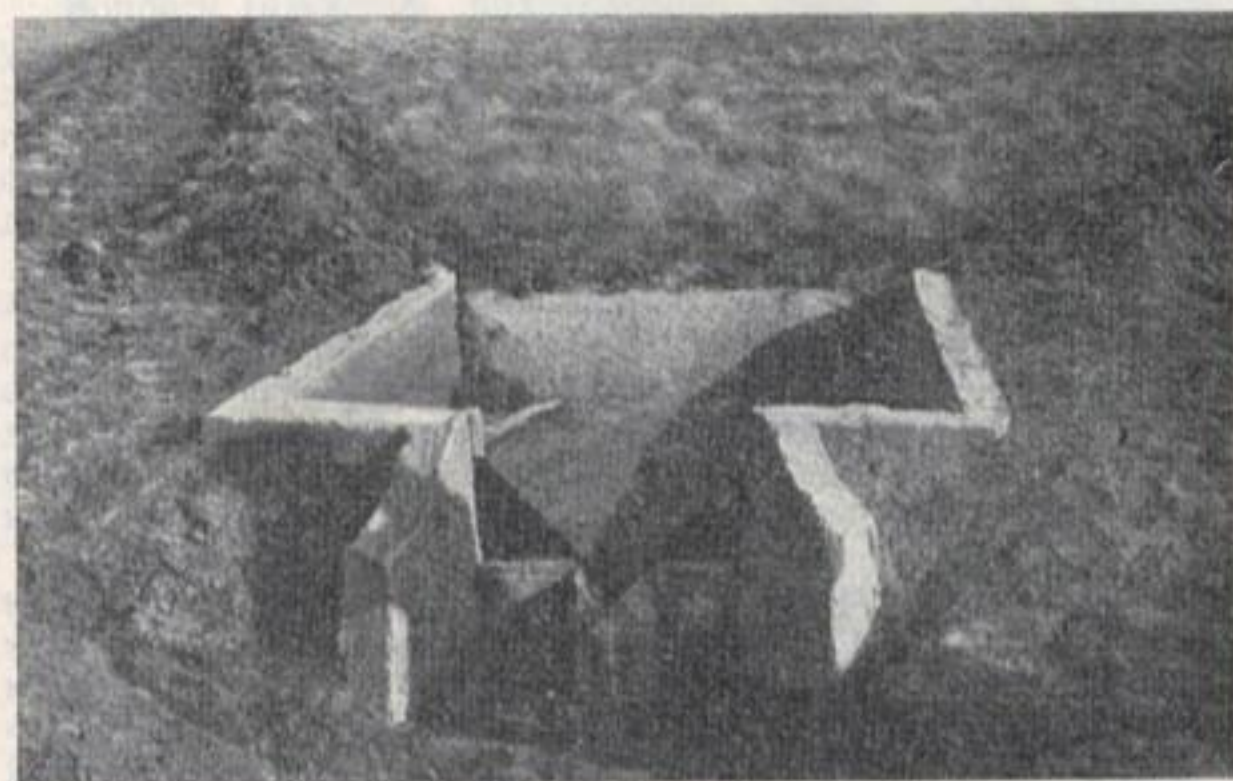


Рис. 10. Простейшее устройство для измерения расходов воды с больших стоковых площадок (треугольный водослив на площадке целинной).

рудование водомерного поста производится в соответствии с Наставлением [61]. Помимо съемки участка водомерного поста производится полуинструментальная съемка чаши озера (пруда) и промеры глубин, позволяющие построить план озера в изобатах в масштабе 1 : 1000 с отметкой исторического максимального и минимального уровня воды и профиль дна озера с указанием толщины озерных отложений (рис. 11), а также построить кривую наполнения озера и нарастания площади зеркала с увеличением уровня воды. Эти кривые являются необходимой характеристикой для вычисления притока воды в озеро и расхода воды из него на испарение и фильтрацию через дно, если озеро не имеет грунтового питания.

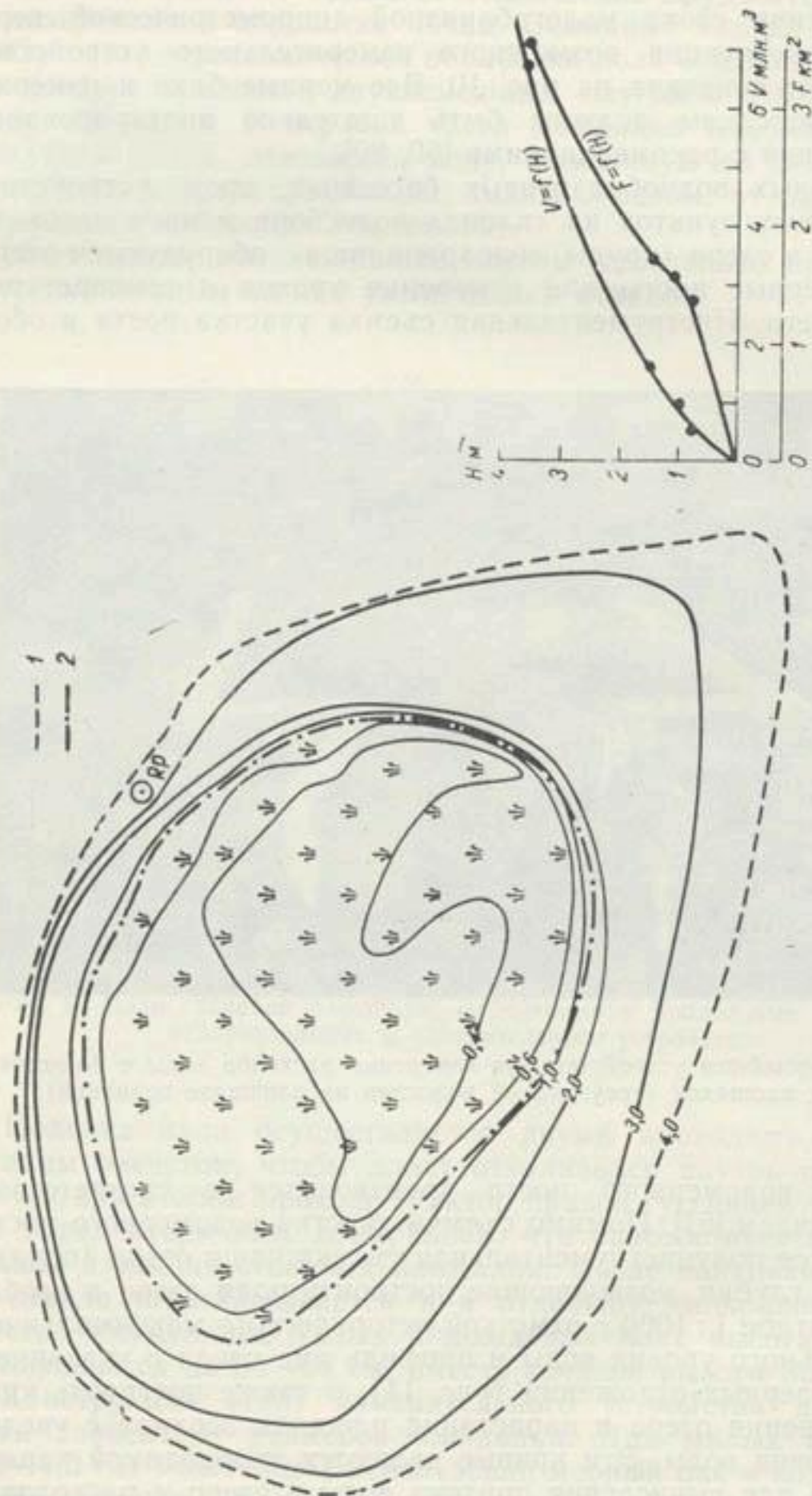


Рис. 11. План бессточного озера и его кривые площадей водного зеркала F и объемов V .

Горизонтали, соответствующие уровням воды на момент съемки (1) и павышему (2) — по сведениям староженов.

3.6. Определение подруслового стока рек

В связи с решением воднобалансовых задач на естественных водосборах часто возникает необходимость в оценке подруслового стока особенно в районах недостаточного увлажнения и в местах выхода горных рек на равнину, где использование подруслового стока возможно для хозяйственных нужд.

Подрусловой сток образуется за счет дренирования грунтовых вод аллювиальными отложениями и фильтрации речных вод в эти отложения. Под влиянием общего уклона речной долины происходит движение воды, насыщающей речные аллювиальные отложения.

Вопросу изучения подруслового стока и его измерению уделялось мало внимания; в литературе имеются лишь отдельные сведения по данному вопросу [18, 24]. Это связано, по-видимому, с тем, что измерение подруслового стока существующими способами [86] весьма трудоемкая задача, а в отдельных случаях и не разрешимая.

В настоящее время существует несколько способов определения скорости движения подрусловых вод: колориметрический, химический, электрохимический и др. Из краткого описания перечисленных в Справочнике [86] способов следует, что для определения скорости движения подземных (подрусловых) вод необходимо иметь центральные — пусковые и наблюдательные скважины с некоторым удалением их друг от друга.

Как показала практика, производство такого рода опытных работ требует больших материальных затрат, много времени и не всегда бывает эффективным. Нередки случаи, когда не достигаются результаты и тогда, когда необходимое количество наблюдательных скважин удваивается и утраивается. В экспедиционных условиях поэтому приходится обращаться к более простому и экономически выгодному способу. Принимая во внимание, что в учебной и научной литературе этот способ мало известен [6], считаем целесообразным более подробно остановиться на нем.

Принципиальные основы предлагаемого способа были высказаны еще Д. И. Кочериным и заключаются в следующем. Подрусловые воды по условию своего залегания и питания за счет дренируемых водотоками водоносных горизонтов находятся в состоянии движения вдоль долины в аллювиальных речных отложениях. В любой произвольно взятой точке профиля аллювиальных отложений при наличии подруслового потока будет наблюдаться горизонтальный ток воды (фильтрация). Если в такой точке оборудовать совершенную, т. е. до водоупора, скважину с фильтром, обеспечивающим свободный водообмен по направлению потока, то представляется возможным обеспечить измерение скорости тока воды в отдельно взятой скважине по скорости уменьшения концентрации

химического раствора в ней. Практически это выполняется следующим образом.

На экспериментальном участке реки, где ранее выполнялись необходимые буровые работы по определению профиля аллювиальных отложений, разбивается гидрогеологический профиль. Количество опытных скважин (пунктов) в пределах профиля на участке реки может быть от 2 до 5—8 в зависимости от ширины и литологического состава аллювиальных отложений. Скважины для наблюдения за уровнем подрусловых

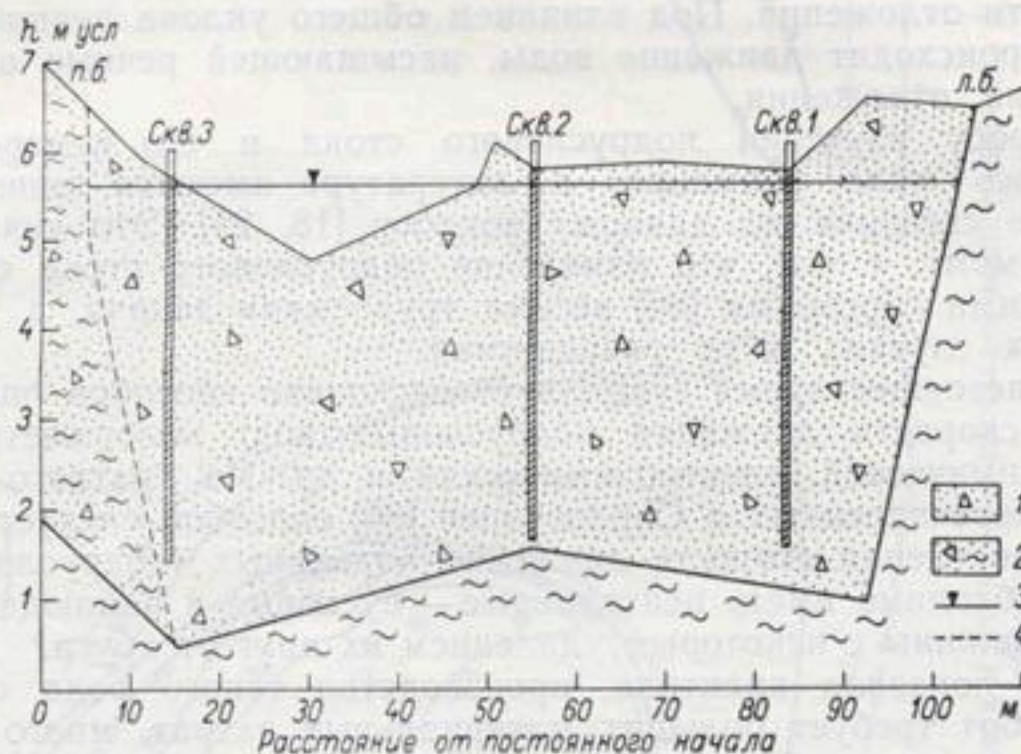


Рис. 12. Створ скважин для измерения подруслового потока в аллювиальных отложениях р. Сары-Тургай (отгон Екиды).

1 — песок крупнозернистый с галькой; 2 — суглинок с примесью гальки; 3 — уровень воды; 4 — граница аллювиальных отложений.

вод оборудуются в русле на перекате и по возможности на незатопляемом участке профиля. Наблюдения проводятся обычно один раз в пять дней.

В качестве примера на рис. 12 показан поперечный профиль аллювиальных отложений на участке реки и размещение опытных скважин. Опытные скважины для измерения скорости подруслового потока пробуриваются по возможности в пределах всей толщи аллювиальных отложений (до водоупора). В тех случаях, когда разбуривание совершенных скважин затруднительно (ограничены технические возможности), допускается разбуривание несовершенных (не на всю глубину русловых отложений) скважин, если в пределах профиля, вскрываемого скважинами, прослеживается однородность в структуре отложений.

Таблица 8

Ведомость результатов полевых определений скорости движения подрусловых вод. Река Сары-Тургай, п. Екиды; 19—20/IX 1963 г. Уровни воды над нулем графика водомерного поста в реке 140 см, а в скважинах № 1—3 не изменялись в течение опыта (8,1 м)

Содержание ионов хлора в пробах воды, отобранных из скважин, мг/л												Скорость фильтрации по формуле (12) м/сутки
Номер скважины	до запуска раствора в 17 ч 40 мин	в момент запуска раство- ра NaCl в 18 ч 00 мин	время отбора проб									
			20 ч	24 ч	4 ч	8 ч	10 ч	12 ч	14 ч	16 ч		
1	124	5281	1311	638	484	369	321	280	244	213	— — —	
2	124	6911	2871	1099	780	601	551	506	464	425		
3	124	8895	4253	2481	1701	1086	1000	920	847	780		
Относительные изменения концентрации в скважинах за периоды между измерениями $\frac{\Delta P}{P_2}$												0.11 0.07 0.07
—	18—20 ч	20—24 ч	24—4 ч	4—8 ч	8—10 ч	10—12 ч	12—14 ч	14—16 ч				
1	3.00	1.06	0.32	0.31	0.15	0.15	0.15	0.15				
2	1.41	1.61	0.41	0.30	0.09	0.09	0.09	0.09				
3	1.10	0.71	0.46	0.57	0.04	0.09	0.09	0.09				

В качестве химического индикатора в опытах применяется насыщенный раствор хлористого натрия (NaCl), объем которого может составлять 1—10 л в зависимости от количества хлоридных ионов в естественном потоке и емкости скважины в пределах ее рабочей части. Перед запуском раствора из скважины отливается часть воды в количестве, равном объему доливаемого химического индикатора.

В дальнейшем производится перемешивание раствора в скважинах через каждые четверть часа и отбор проб воды объемом

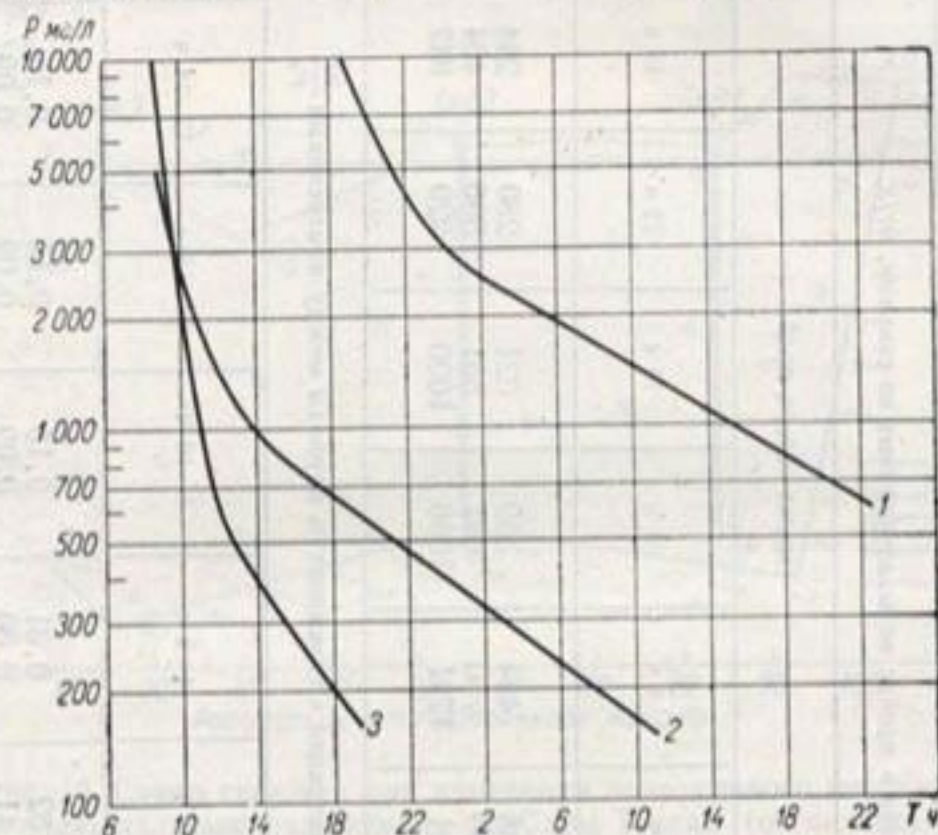


Рис. 13. График хода концентрации раствора P во времени T .

1 — р. Тасты (скв. 1); 2 — р. Ащи-Тасты (скв. 1); 3 — р. Син-Тасты (скв. 2).

10 мл на химический анализ через определенные промежутки времени (днем — через 2 ч, ночью — через 4 ч).

В походных условиях (даже в палатках) содержание хлоридных ионов в пробах определяется титрованием с применением в качестве титра децинормального раствора азотно-серебряной соли (AgNO_3). После того как концентрация солевого раствора в скважинах будет равна естественной или близкой к ней, опыт повторяется.

Результаты наблюдений записываются по форме табл. 8.

По полученным данным строится график хода во времени концентрации раствора в скважинах на логарифмической клетчатке (рис. 13). На графике видны прямолинейные участки, в пределах которых данные могут быть включены в расчет скоростей фильтрации подруслового потока. Части кривых за преде-

лами этих участков (начало опыта) не могут быть использованы для подобных расчетов, так как резкое изменение концентрации (рассоление) раствора в скважине в этот период обусловлено главным образом, за счет осмотического эффекта, вызванного наличием больших различий в плотностях раствора в самой скважине и за ее пределами.

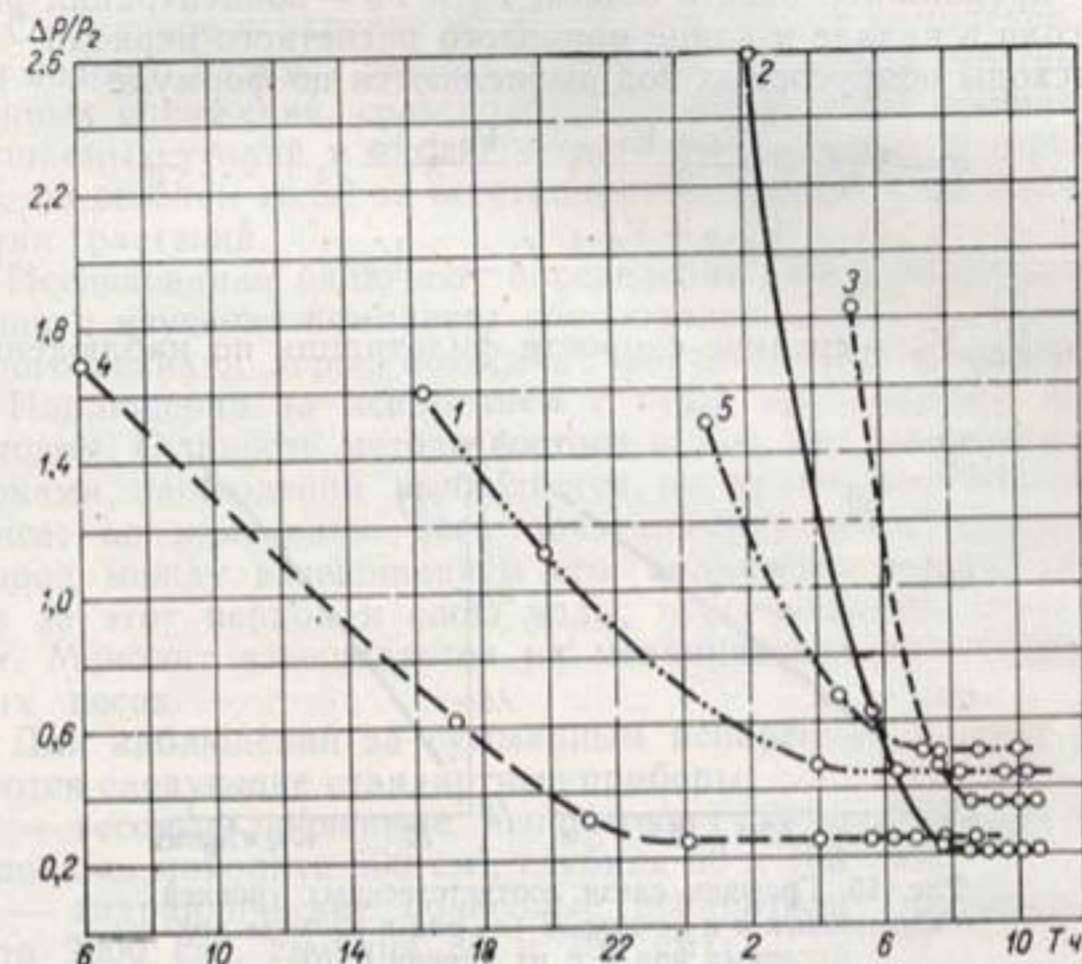


Рис. 14. График хода изменений концентраций за двухчасовые промежутки времени.

1 и 2 — р. Сары-Тургай (скв. 2 и 1); 3 — р. Син-Тасты (скв. 1); 4 и 5 — р. Ащи-Тасты (скв. 3 и 2).

Для выбора расчетного периода может быть использован простой вариант. По форме табл. 8 в поле вычисляются относительные изменения концентрации в скважинах за двухчасовые

интервалы между измерениями $\frac{\Delta P}{P_2}$, где $\Delta P = P_1 - P_2$ (P_1 — кон-

центрация в начале двухчасового интервала, P_2 — то же, в конце его). В качестве расчетного выбирается период (обычно в конце

опыта), включающий в себя равные между собой значения $\frac{\Delta P}{P_2}$

за двухчасовые интервалы (рис. 14).

Расчет скорости фильтрации рекомендуется производить по формуле Д. И. Кочерина

$$V = \frac{\pi D}{4t} \ln \frac{P_1}{P_2}, \quad (12)$$

где V — скорость фильтрации, м/сутки; D — диаметр скважины, м; t — продолжительность опыта; P_1 и P_2 — концентрация раствора соли в начале и конце принятого расчетного периода.

Расходы подрусловых вод вычисляются по формуле

$$q = V_1 f_1 + \frac{V_1 + V_2}{2} f_2 + \frac{V_2 + V_3}{2} f_3 + \dots + \frac{V_{n-2} + V_{n-1}}{2} f_{n-1} + V_n f_n, \quad (13)$$

где V_1, V_2, V_n — средние скорости фильтрации по наблюдениям

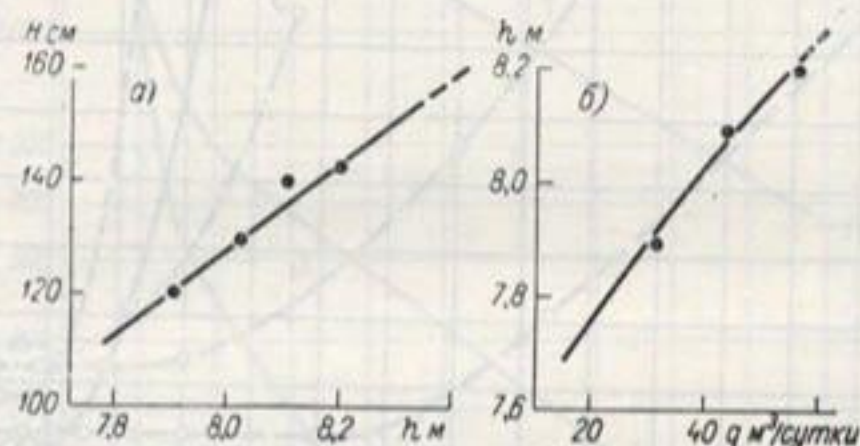


Рис. 15. Графики связи соответственных уровней подрусловых h и речных H (а) вод и расхода подрусловых вод q и их уровня h (б).

в отдельных скважинах; f_1, f_2, f_n — площади фильтрации между скважинами.

Подсчет подруслового стока производится по зависимости расхода подрусловых вод от их уровня (рис. 15 б). В связи с тем что наблюдения за уровнями в наблюдательных скважинах обычно проводятся относительно редко (летом через 5—10 дней, зимой один раз в месяц), для восстановления пропусков в наблюдениях строится график связи соответственных уровней поверхностных и подрусловых вод (рис. 15 а).

На обследованных реках Кустанайской области [4] подрусловой сток составил небольшой процент от руслового стока за год. Так, на реках Тасты, Ащитасты он составлял всего 0,01%, а на реках Сары-Тургай и Кара-Тургай соответственно 0,02 и 0,05%. Этот вид речного стока происходит в течение всего года и несмотря на небольшую долю его в общем русловом стоке обследованных рек, в засушливую часть может служить надежным

источником питьевого водоснабжения. Известно, что на участках отдельных рек подрусловой сток может достигать 10—15% годового.

3.7. Наблюдения за испарением

Суммарное испарение исследуется в общем комплексе изучения водного баланса речных и озерных бассейнов, местных бессточных понижений, сельскохозяйственных полей орошаемых и осушаемых угодий и заключается в определении испарения за год, по сезонам года, за вегетационный период и по фазам развития растений.

Исследования включают определение самой величины испарения и изучение комплекса обуславливающих его гидрометеорологических и агро-, почвенно-, растительных факторов.

Наблюдения за испарением с суши производятся весовым методом. Сущность метода состоит в том, что испарение между сроками наблюдений вычисляется по уравнению водного баланса: по изменению веса почвенно-грунтового монолита за период между взвешиванием его, количеству выпавших осадков за этот период и слою воды, просочившейся через монолит. Монолит взвешивается на механических или гидравлических весах.

Для наблюдений за суммарным испарением с суши применяются следующие стандартные приборы:

— весовые почвенные испарители ГГИ-500-50 и ГГИ-500-100 (площадь монолита 500 см², глубина 50 и 100 см);

— гидравлические почвенные испарители (площадь монолита 2000 см², глубина 80 и 150 см);

— взвешиваемые лизиметры типа ГР-80 (площадь монолитов по 2000 см², глубина монолитов без поддонов 100, 150, 200 и 250 см);

— болотные испарители ГГИ-Б-1000 (площадь 1000 см², глубина 50 см).

Подробные сведения о перечисленных стандартных приборах, правилах работы с ними и анализе наблюдений имеются в руководствах и указаниях [51, 62, 74, 80], а также в литературе [49, 68, 69, 87, 93, 94]. В этой же литературе приводятся сведения и о нестандартных весовых испарителях и лизиметрах разных конструкций.

Весовые испарители позволяют определять испарение за пентаду и более длительное время. Гидравлический почвенный испаритель дает возможность измерять полусуточные величины испарения.

Лизиметры применяются для измерения испарения, расхода грунтовых вод в зону аэрации и пополнения этих вод за счет инфильтрации в пунктах, где средняя за вегетационный

период глубина залегания грунтовых вод не превышает 5 м. Лизиметры имеют наибольшее применение при изучении водного баланса почвенно-грунтовой толщи на орошаемых и осушаемых участках.

Болотные испарители используются для измерения испарения с болот и заболоченных земель [62].

Испарители ГГИ-500-50 используются обычно в районах избыточного увлажнения, а также для увлажнения почв в районах недостаточного увлажнения и применяются для определения испарения с почвы без растительного покрова и с растительностью с неглубоким (до 20—25 см) проникновением корневой системы. Для зерновых культур необходимо применять испарители ГГИ-500-100. Во всех случаях предпочтнее следует отдавать испарителям ГГИ-500-100 несмотря на большую трудоемкость работ с ними. Массы монолитов этих испарителей 80—90 кг и для взвешивания их требуются специальные подъемники.

Следует отметить, что при изучении влагообмена в зоне аэрации, особенно при неглубоком залегании уровня грунтовых вод (менее 1,5 м), а также для измерений испарения с таких сельскохозяйственных культур, как картофель, кукуруза и другие, испарители типа ГГИ-500 непригодны и в этих случаях необходимо использовать лизиметры.

Наблюдения за испарением с суши организуются на постоянных и временных почвенноиспарительных площадках. На постоянной площадке обязательно должен быть участок с луговой (целинной) поверхностью, испарение с которой обычно принимают за эталон при сравнении с испарением с других поверхностей и угодий. На луговом участке располагаются и водные испарители.

При выборе участка для организации наблюдений обычно руководствуются следующим.

1. Пункт наблюдений за испарением выбирается с таким расчетом, чтобы он был характерным для данного района в отношении почвы, рельефа и растительности.

2. Участок для наблюдений должен быть ровным с уклоном, близким к уклону окружающей местности (рис. 16).

3. На участке наблюдений при наличии подъемного устройства (рис. 17) выделяются две площадки размером 400 и 100 м²: первая — для установки приборов, вторая — для взятия почвенных монолитов. На участке без специального подъемного устройства размер каждой площадки 100 м². Обе площадки должны быть расположены рядом и на одном типе почв. Степень однородности почвенного покрова определяется путем открытия шурфов глубиной до 1,0 м или путем отбора проб почвы почвенным буром с последующим определением механического состава почво-грунтов. Последнее принимается по ви-

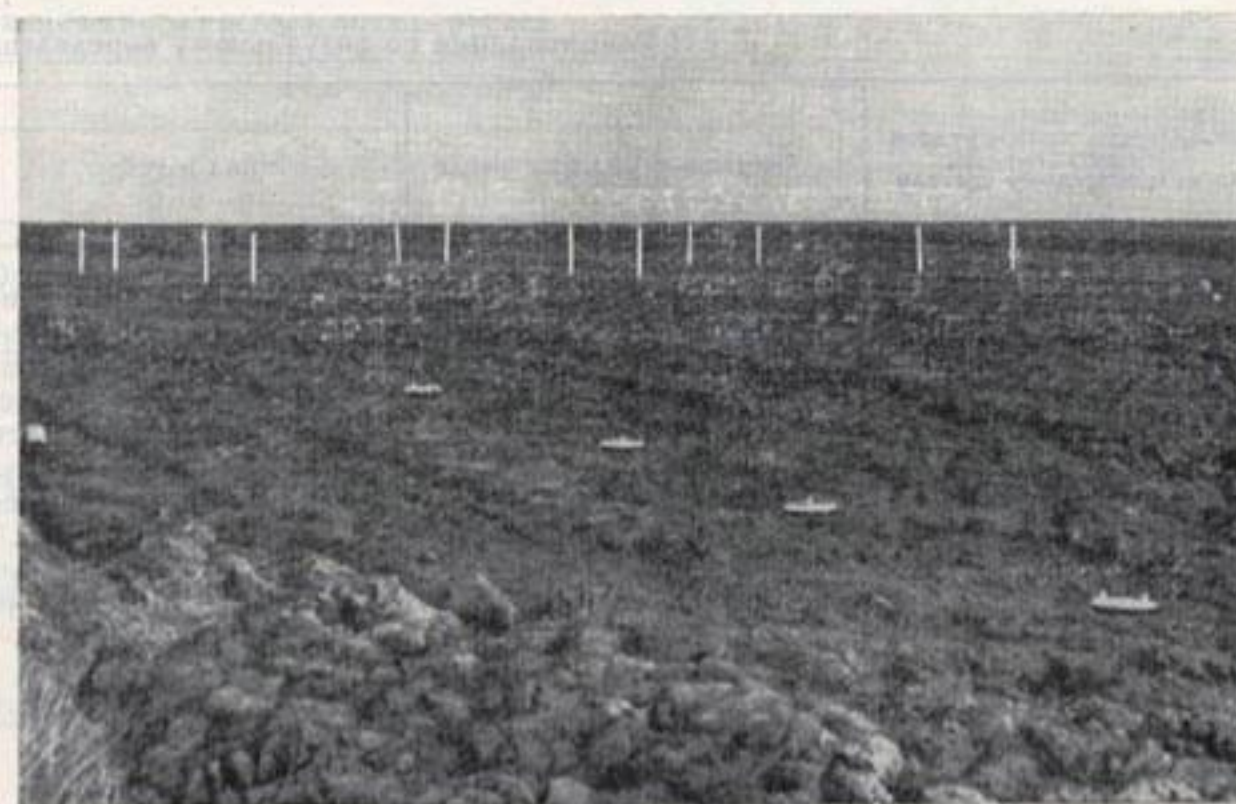


Рис. 16. Общий вид почвенноиспарительной и снегомерной площадок (испарители ГГИ-500 и постоянные снегомерные рейки).

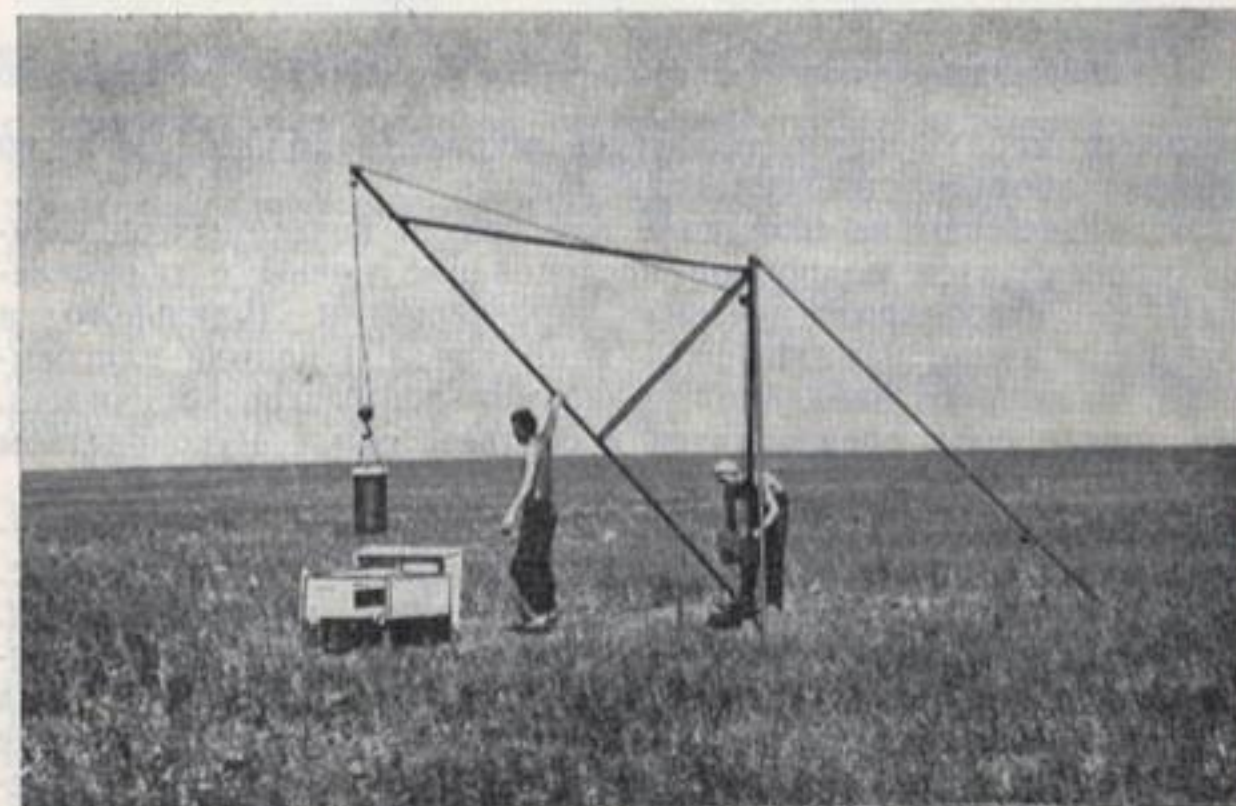


Рис. 17. Подъемное устройство для взвешивания испарителей ГГИ-500.

Рекомендации по визуальному определению

Разновидности почво-грунтов по механическому составу	Ощущение при растирании	Вид в лупу
Глинистые (глина)	Тонкий однородный порошок	Однородная масса глинистых частиц
Суглинистые (суглинок тяжелый)	Однородный порошок с отдельными частицами песка ¹	Среди преобладающих глинистых частиц ясно видны песчаные частицы
Песчано-суглинистые (суглинок средний и легкий)	Песчаные частицы, связанные однородным порошком	Глинистые частицы перемешаны с песком
Супесчаные (супесь)	Слабосвязанные песчаные частицы	Преобладают песчаные частицы; глинистых частиц мало
Песчаные (песок)	Состоит почти исключительно из песчаных зерен. Несвязанные песчаные зерна	Отдельные песчаные зерна
Каменистые	Наряду с глинистыми и песчаными частицами в изобилии содержатся частицы почво-грунтов размером больше 3 мм (гравий, хрящ, щебень, галька, валуны)	

¹ Лёссовидные суглинистые почво-грунты на ощупь при растирании совер-

зуальным наблюдениям, пользуясь шкалой (табл. 9), либо по данным лабораторных исследований.

В дальнейшем на площадке для взятия почвенных монолитов производится подробное исследование почвы с определением ее агрогидрологических характеристик (удельного и объемного весов; наименьшей, капиллярной и полной влагоемкости; влажности завядания; максимальной гигроскопичности. Эти определения производятся в соответствии с Руководством [75].

Наиболее ответственными моментами работы с испарителями ГГИ-500 является зарядка их монолитами и взвешивание. Перед каждым взвешиванием необходимо проверять весы. При взвешивании монолиты испарителей и весы следует защищать от ветра. С этой целью устраивают различного вида ветровые защиты, состоящие из щитов и кожухов. Наиболее надежной защитой служит котлован или палатка, где размещаются весы (рис. 18), однако использование палатки исключает возможность применения подъемных устройств.

Наблюдения за испарением с суши начинаются сразу после схода снега весной (при мерзлой почве) и заканчиваются

механического состава почво-грунтов

Состояние почво-грунтов		При скатывании в слабо влажном состоянии
сухих	влажных	
Очень твердые, образуют комковатую пашню	Очень вязки, пластичны, сильно мажутся	Дают длинный шнур
Плотные. Пашня комковатая, но комья менее связаны, чем в глинистых грунтах	Пластичны	Длинного шнура не дают
Неоднородный плотности; образуют непрочные комья	Слабо пластичны	Шнур дают очень прочный (крошится)
Ссыхаются в непрочные комки, с поверхности которых легко собирается песок	Непластичны	Шнур не скатывается
Сыпучие	Образуют жидкую текущую массу «песок-плавун»	Рассыпаются

В зависимости от количества и состава входящих в них более тонких элементов могут быть глинистыми, супесчаными и песчаными

шенно однородны и вместо песчаных частиц в них преобладают пылеватые.

с установлением морозов осенью. Испарители, предназначенные для наблюдений в ранний весенний период, не разряжаются поздней осенью и их монолиты оставляют в гнездах на всю зиму.

Количество испарительных площадок и испарителей на них, размещение площадок на объектах зависит от задач исследований. Погрешность измерения суммарного испарения испарителями ГГИ-500 составляет 10%.

Ниже приводятся отдельные рекомендации по работе с испарителями ГГИ-500 в сложных условиях.

В ранний весенний период испарители не перезаряжаются до просыхания пахотного горизонта почвы. В последующий период вегетации перезарядка испарителей ГГИ-500-50 производится через каждые 10—15 дней, а ГГИ-500-100 — через месяц. В осенний период увлажнения почв, когда суммарные величины осадков (за декаду, месяц) превышают величины испарения, монолиты испарителей могут не перезаряжаться.

При наблюдениях на лиманах испарительные площадки с испарителями ГГИ-500-50 и ГГИ-500-100 периодически перемещают по мере обсыхания лимана. Перемещение испарителей

и, главным образом, площадки для перезарядки почвенных монолитов производится с момента установления влажности в полуметровом слое почвы ниже влажности, соответствующей наименьшей влагоемкости. Для этого в прибрежной зоне на различном удалении от уреза воды отбираются три пробы почвы по глубине (в пределах метровой толщи) и определяется влажность в процентах. В пункте отбора проб, ближайшим от уреза воды, где влажность почвы выше или равна влажности, соответствующей наименьшей влагоемкости, производится зарядка монолитов и установка испарителей. Значения влажности, соответствующие наименьшей влагоемкости



Рис. 18. Простейшее укрытие от сильного ветра для взвешивания испарителей ГГИ-500-50.

для различной категории грунтов по механическому составу, приведены ниже в п. 3.9.

Для орошаемых земель весовые почвенные испарители типа ГГИ-500 неприменимы, так как здесь почти повсюду наблюдается неглубокое залегание грунтовых вод, а испаряющая площадь (500 см^2) является недостаточной для нормального произрастания колосовых культур.

Результаты испытаний различных типов испарителей, выполненных в 1957—1965 гг. на орошаемых землях Ростовской области и Северного Кавказа, показали, что оптимальными размерами испаряющей площади в испарителях для орошаемых земель являются: для пара — 500 см^2 , для колосовых

культур — $750—1000 \text{ см}^2$, для пропашных и овощных культур — $2000—3000 \text{ см}^2$. Высота испарителей для пара достаточна 50 см , для сельскохозяйственных культур она определяется глубиной проникновения корневой системы и составляет для колосовых 100 см , а для пропашных и овощных в среднем $120—150 \text{ см}$. Испарители больших размеров на поливных землях заполняются почво-грунтами с нарушенной структурой в порядке, соответствующем литологии почво-грунтов в естествен-

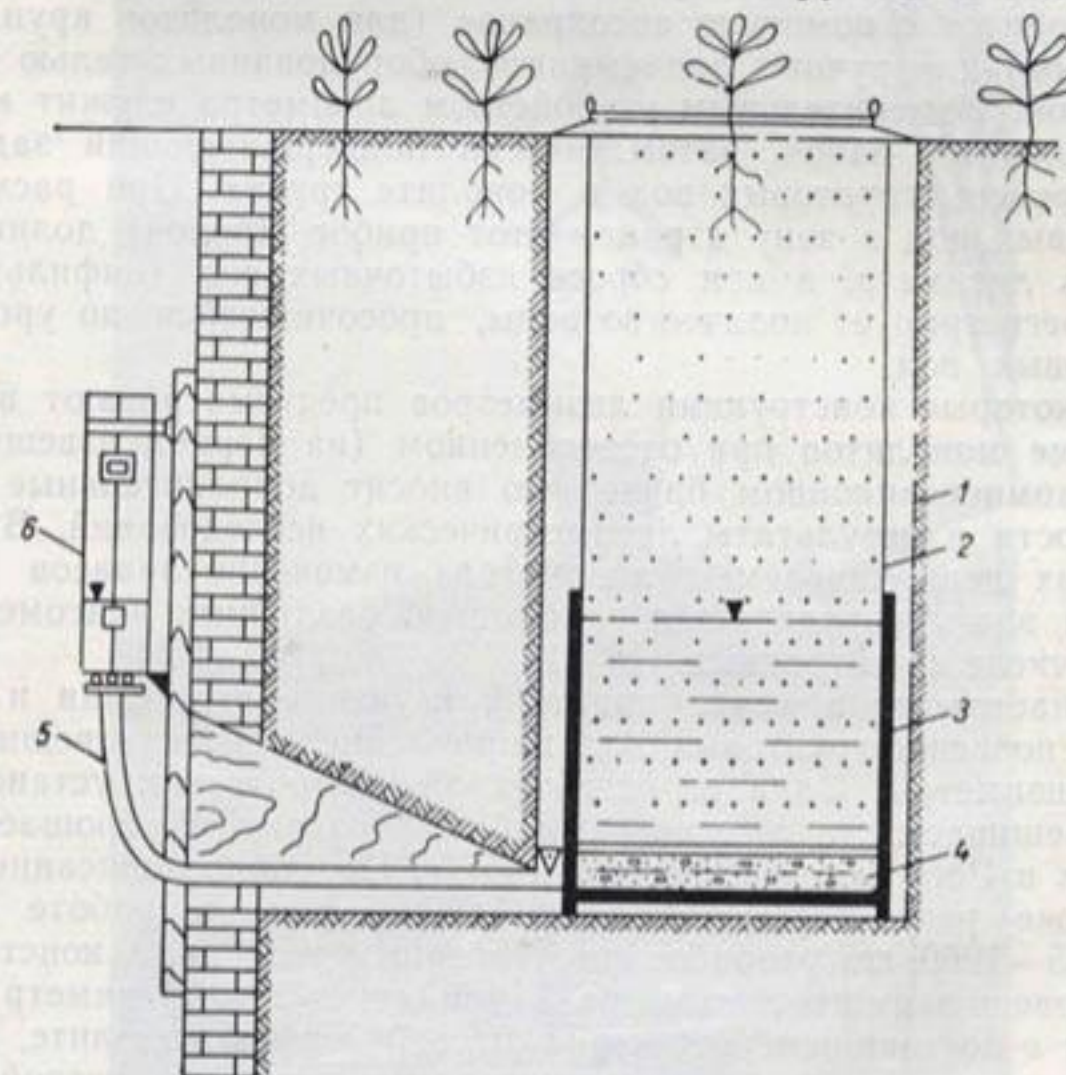


Рис. 19. Принципиальная схема устройства лизиметра [87].

1 — гнездо лизиметра; 2 — корпус лизиметра; 3 — поддон; 4 — обратный фильтр; 5 — соединительный шланг; 6 — прибор автоматического долива воды.

ных условиях. Рис высаживается в испарителях семенами или саженцами.

Как указывалось выше, применение лизиметров позволяет изучать весь водный баланс почвенно-грунтовой толщи при неглубоком (до 5 м) залегании грунтовых вод. Все лизиметры можно разделить на две основные группы: взвешиваемые и невзвешиваемые. Последние наиболее просты по конструкции, но не позволяют определять испарение за короткие интервалы времени (декада, месяц), так как остается неизвестным изменение запасов влаги в почво-грунтах зоны аэрации.

На рис. 19 показана принципиальная схема простейшей лизиметрической установки с устройством для поддержания постоянного уровня грунтовых вод в монолите. Такой лизиметр представляет собой водонепроницаемый бак, зарытый в землю до верхней ее кромки и заполненный исследуемым грунтом. Крайне желательно заряжать лизиметры монолитами с ненарушенной (естественной) литологической структурой почвогрунтов, однако такая зарядка монолитов весьма трудоемка и производится с помощью автокранов (для монолитов крупных размеров) или ручных подъемников, оборудованных талью или лебедкой. Измерительным устройством лизиметра служит компенсационный бачок, автоматически поддерживающий заданный уровень грунтовых вод в монолите грунта. При расходе грунтовых вод в зону аэрации этот прибор (бачок) доликает воду в лизиметр, а при сбросе избыточных вод (инфильтрация) регистрирует количество воды, просочившейся до уровня грунтовых вод.

Некоторые конструкции лизиметров предусматривают взвешивание монолитов при отсоединенном (на период взвешивания) компенсационном бачке, что вносит дополнительные погрешности в результаты лизиметрических исследований. В некоторых невзвешиваемых лизиметрах изменение запасов почвенной влаги определяется с помощью различных влагомеров, в том числе и нейтронных.

В настоящее время в практику изучения испарения и баланса почвенно-грунтовых вод широко внедряются взвешиваемые лизиметры. Одна из опытных лизиметрических установок со взвешиваемыми лизиметрами была создана на орошаемых землях в Ростовской области в 1957 г. Подробное описание ее, а также результаты наблюдений приведены в работе [92]. В 1965—1966 гг. разработана усовершенствованная конструкция взвешиваемого лизиметра ГР-80 (рис. 20). Лизиметр работает с постоянным уровнем грунтовой воды в монолите, поддерживаемым с помощью водорегулирующего устройства (бачка) карбюраторного типа. Лизиметр состоит из трех основных частей: почвенного монолита с поддоном, гнезда для него и водорегулирующего устройства, взвешиваемого вместе с монолитом лизиметра. Отдельным узлом лизиметра является система его взвешивания (весы, подъемное устройство). Наиболее простым подъемным устройством в условиях экспедиции является автокран грузоподъемностью до 3000 кг. В последнее время стали использоваться козловые краны на рельсах, подвозящие лизиметры к весам. Для взвешивания лизиметров требуются глубокие котлованы, необходимые для защиты лизиметров от ветра в момент их взвешивания.

Лизиметры ГР-80 дают наиболее надежные результаты при массовых наблюдениях, в частности в условиях экспедиции. Подробное описание их приводится в книге С. И. Харченко

[93] и в указаниях [51], а примеры использования лизиметрических наблюдений для изучения водного баланса суходольных и орошаемых полей в работах [39, 94]. Там же даются реко-



Рис. 20. Зарядка 2-5-метрового монолита лизиметра ГР-80.

мендации по выбору мест для установки лизиметров при использовании их в различных целях.

Испарение с водной поверхности изучается в экспедиционных условиях для определения его с водоемов и оросительных каналов, а также для оценки возможной физической величины испарения в данных климатических условиях. Эту последнюю величину испарения иногда принимают в качестве эталона —

меры сравнения с испарением влаги с других поверхностей.

Наблюдения за испарением с водной поверхности в экспедициях организуются обычно в полном соответствии с действующими руководствами и наставлениями [56, 61, 80]. Основным прибором служит испаромер ГГИ-3000 (площадью 3000 см²), в комплект которого входит дождемер, бюретка, мерная трубка и дождемерный стакан. В зависимости от задач исследований этот испаритель устанавливается на суходолах при метеорологических площадках, вблизи водоемов и на самих водоемах — на плоту. В некоторых случаях эти испарители используют для изучения испарения с участков водоемов, занятых водной растительностью.

Наблюдения за испарением снега производятся на снегоиспарительных площадках размером не менее 10×10 м, расположенных на ровном открытом месте. При наличии на водосборе леса или лесных полос необходимо располагать дополнительные снегоиспарительные площадки в защищенных местах: на поляне, под пологом леса, на различном расстоянии от лесных полос и т. п. На испарительных площадках также ведутся наблюдения за скоростью ветра, температурой воздуха на высоте 2 м, температурой поверхности воды или снега (температура поверхности снега измеряется по затененному и незатененному от прямой и рассеянной солнечной радиации термометрам).

Испарительные площадки желательно располагать вблизи метеостанций, чтобы не проводить дополнительно всего комплекса метеонаблюдений, необходимых для анализа и изучения испарения со снега. Если климатические условия сравнительно мало меняются в пределах изучаемого района, наблюдения за испарением снега обычно проводятся в одном пункте.

Наблюдения, запись и обработка данных наблюдений производится в полном соответствии с руководством [74].

3.8. Изучение конденсации атмосферной влаги в почво-грунтах

Из различных способов измерения конденсации атмосферной влаги наиболее совершенным является измерение при помощи лизиметров, заряженных монолитами почво-грунтов, внутри которых искусственно поддерживается уровень грунтовых вод на различной глубине от поверхности почвы. При такой конструкции лизиметров представляется возможным измерить величину конденсационной влаги, способную просочиться сквозь толщу почво-грунта в монолите и достичь уровня грунтовых вод.

Из опыта работ экспедиции ГГИ в песчаных массивах бассейна р. Тургая (район песков Тусум) в периоды июль—

октябрь 1962 г. и май—сентябрь 1963 г. выяснилось, что подобные лизиметры действительно позволяют оценить величину просачивания конденсационной влаги в песке на различную глубину при условии, что:

а) высота вертикальных стенок кожуха лизиметра не превышает высоту капиллярного поднятия влаги в песчаном монолите над уровнем грунтовых вод в естественных условиях;

б) кожух, в который помещается монолит, металлический, тонкостенный, без теплоизоляционного покрытия, но с гидроизоляцией швов (смола, битум);

в) есть приспособление для автоматического долива и слива воды на отметке искусственно созданного уровня грунтовых вод, позволяющее измерить просачивание конденсационной влаги и отток влаги из грунтовых вод в зону аэрации;

г) наблюдения ведутся в периоды с отсутствием атмосферных осадков;

д) параллельно с наблюдением по лизиметру производятся наблюдения за атмосферными осадками по осадкомеру Третьякова и дождемерам площадью 500 см², за температурой почвы по термометрам Савинова и вытяжному на разных глубинах, а также за влажностью воздуха на высоте 2 м.

В соответствии с предъявляемыми требованиями к лизиметрическим установкам для измерения конденсационной влаги можно в качестве образца рекомендовать лизиметры, которые применялись в песках Тусум в период экспедиционных исследований ГГИ (рис. 21). Почвенный монолит 1, помещенный в металлический воронкообразный кожух 2, вкапывается в песок. Внутри монолита с помощью выходящей в котлован трубки 4 поддерживается постоянный уровень грунтовых вод 3. Всякое изменение его вызывает равное изменение уровня воды в сообщающемся с монолитом приемном измерительном сосуде 5. При избытке воды в монолите последняя сливается из приемного измерительного сосуда по трубке в подставленный мерный цилиндр 8. В случае поглощения монолитом воды из приемного измерительного сосуда недостаток восполняется соответствующим количеством воды из верхнего цилиндра 6, для этого служит кран 7. Для предохранения от засорения трубки 4 имеется сетчатый фильтр 9.

Диаметр металлической воронки 1000 мм, площадь 0,785 м², высота цилиндрической части 400 мм, конической — 200 мм. Емкость приемного измерительного сосуда (цилиндра) 2 л. Диаметр трубки, соединяющий этот сосуд с воронкой, 25 мм, длина 2,5 м. Измерительный сосуд протарирован.

На основании принципа сообщающихся сосудов всякое изменение уровня относительно его заданного рабочего положения фиксировалось с точностью до 1 мм по измерительной колбе с делениями.

Предлагаемый способ измерения уровня грунтовых вод в лизиметре требует соблюдения обязательного условия: не менее 4 раза в сутки вести наблюдения за уровнем воды, причем один срок должен быть назначен в часы после захода солнца, второй — до восхода.

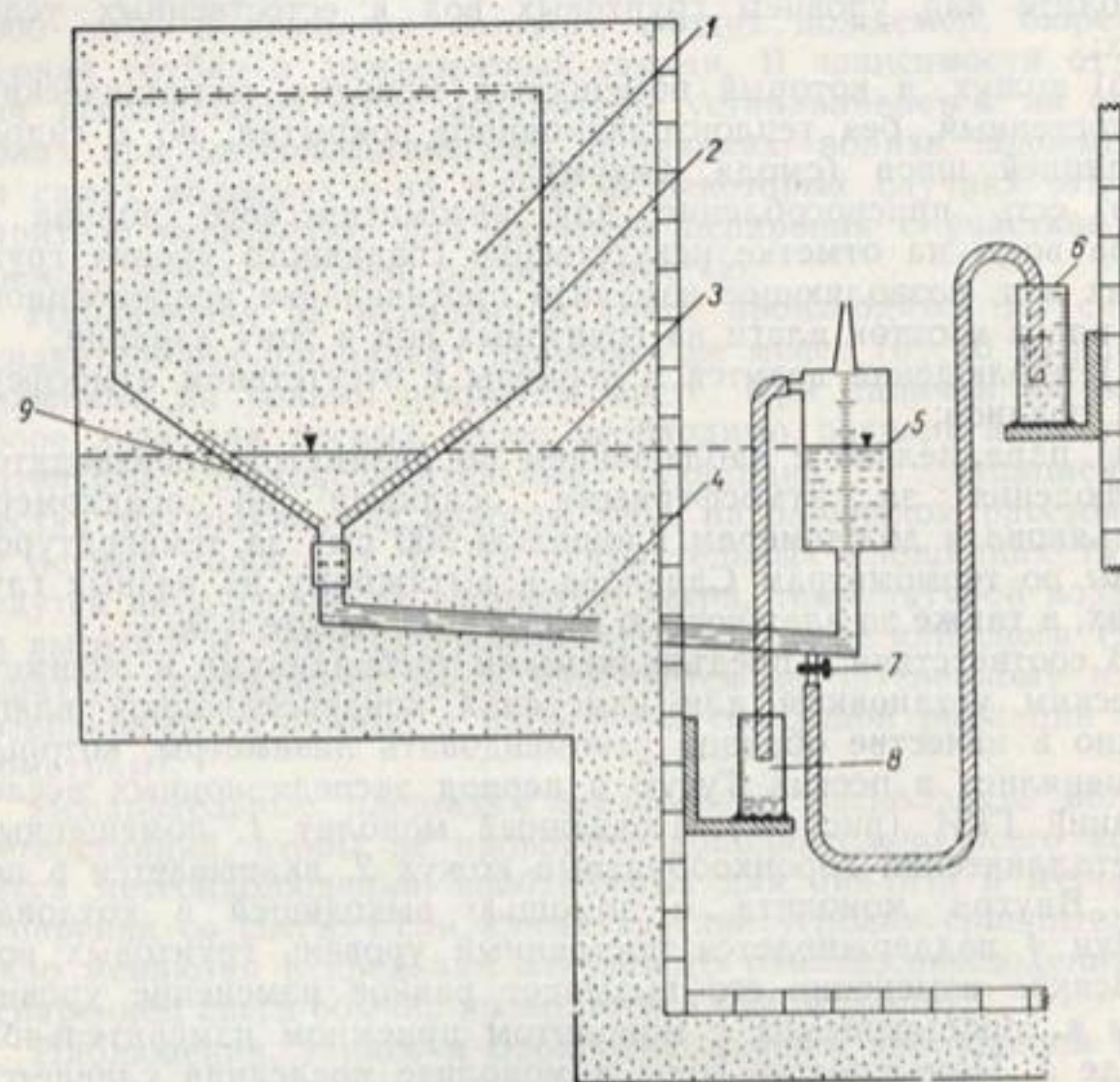


Рис. 21. Схема лизиметрической установки для измерения конденсации водяных паров в песке (разрез).

Названия узлов установки даны по тексту книги.

Данное приспособление для измерения уровня является примитивным, но может быть рекомендовано в практике подобных исследований, если нет возможности применить приспособление по автоматическому доливу и сливу воды в системе относительно рабочего (заданного) уровня. В этом смысле удобно применять лизиметры ГР-80 высотой 1 и 1,5 м, обеспечивающие автоматический долив и регистрацию слива. Однако наблюдения должны проводиться не менее 2 раз в сутки.

Результаты наблюдений показали, что в 1963 г. суммарная величина конденсации паров воздуха на песчаном бархане

составила около 30 мм, а в понижении между барханами — 24 мм, или соответственно 41 и 33% суммы атмосферных осадков за период наблюдений.

Приход влаги на зеркало грунтовых вод за счет конденсации паров воздуха в толще песка мощностью 0,5 и 1,5 м составил соответственно 14 и 16% суммы осадков в 1962 г. и 12 и 5,5% суммы осадков в 1963 г. Более подробные сведения о величинах конденсации на опытном участке пески Тусум (Кустанайская область) приведены в работах [4, 5].

Величину суммарной конденсации водяных паров из атмосферы в различных почвогрунтах возможно измерить и при помощи существующих почвенных испарителей различной конструкции (ГГИ-500-50, ГГИ-500-100, ГПИ-55 и др.), если выполнять взвешивание 2 раза в сутки на весах, позволяющих взвешивать монолиты с точностью +10 г, что соответствует величине конденсации 0,2 мм.

Величина конденсационной влаги с помощью данных приборов может быть измерена ежесуточно по увеличению веса монолитов за время от захода до восхода солнца при условии отсутствия в этот период атмосферных осадков. Для таких периодов величину просачивающейся через монолит влаги в водосборном сосуде следует прибавить к весу монолита.

Одновременные наблюдения за температурой и влажностью воздуха, а также за температурой почвы на разных глубинах необходимы для нахождения зависимости величины конденсации в почве паров атмосферной влаги от определяющих ее факторов:

$$K = f(t_{19} - t_7, e, t_a), \quad (14)$$

где K — конденсация паров воздуха в слое песка, мм; $(t_{19} - t_7)$ — амплитуда колебаний температуры поверхности песка; e — влажность воздуха в 19 ч, мб; t_a — температура воздуха в 19 ч, °C.

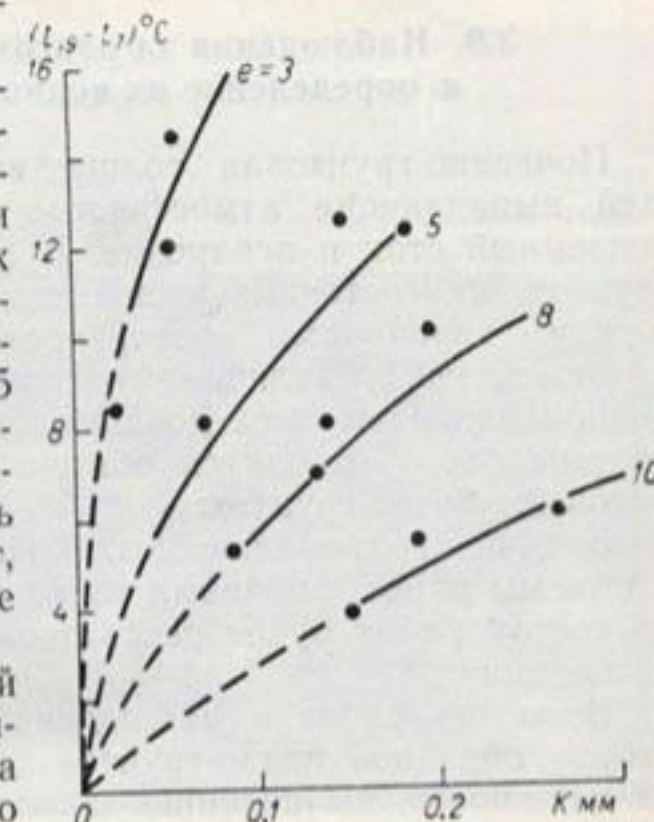


Рис. 22. Зависимость конденсации паров воздуха в слое песка 0,5 м от амплитуды колебаний температуры поверхности песка $(t_{19} - t_7)$ и влажности воздуха e для температуры воздуха на 19 ч, равной 20° C.

Зависимость указанного вида получена по материалам наблюдений в песках Тусум для разного диапазона температур воздуха на 19 ч (от 15 до 35°С). На рис. 22 в качестве примера показана зависимость для температуры воздуха 20°С.

Подобные зависимости позволяют приближенно оценить для конкретных районов величину возможной конденсации влаги за различные годы по данным о температуре и влажности воздуха и температуре поверхности почвы.

3.9. Наблюдения за влагозапасами почво-грунтов и определение их водно-физических свойств

Почвенно-грунтовая толща является средой, преобразующей выпадающие атмосферные осадки на поверхностный и подземный сток и испарение. В зависимости от свойств почво-грунтов, их состояния и времени года меняются соотношения между величинами поверхностного и подземного стока, а также между величинами стока и испарения. Поэтому при воднобалансовых исследованиях главное внимание и основные объемы работ отводятся обычно изучению динамики влагозапасов в почво-грунтах.

Задачи воднобалансовых исследований, а следовательно, и объемы работ с почвами могут быть совершенно различными, но состав работ будет оставаться почти одинаковым для всех экспедиций.

В состав работ и наблюдений входят полевые работы по отбору образцов почво-грунтов с разных глубин, определению их влажности, вычислению запасов воды в них, а также полевые и лабораторные работы по определению водных свойств и физических характеристик почво-грунтов.

Все работы в экспедициях по изучению почво-грунтов можно разбить на:

- систематические, связанные с изучением водного режима и баланса почво-грунтов на выбранных объектах, включая водосборы логов и рек;

- эпизодические, связанные с проведением маршрутных съемок влажности почв на больших площадях и водосборах, а также при зарядке и разрядке почвенно-грунтовых монолитов испарителей и лизиметров;

- одноразовые, предназначенные для определения водно-физических свойств и характеристик почво-грунтов.

Вопросы организации, производства и обработки материалов наблюдений за влажностью и влагозапасами в почво-грунтах на стационарных объектах рассмотрены в ряде наставлений, руководств и указаний [43, 51, 57, 73, 75, 80]. Ниже рассматриваются лишь те вопросы, которые необходимо знать и учитывать при выполнении экспедиционных воднобалансовых исследований.

Основным вопросом организации исследований является определение местоположения и количества точек наблюдений за влажностью почво-грунтов с необходимой точностью. Этот вопрос решается на основании результатов съемок влажности.

Съемка влажности — мероприятие разового характера, как и определение агрогидрологических свойств почвы, и производится раз в несколько лет, если условия увлажнения водосбора остаются неизменными (рис. 23). Всякое изменение



Рис. 23. Отбор проб почвы с помощью бура АМ-26.

этих условий (вырубка леса или облесение, распашка земель, орошение и т. д.) вызывает необходимость производства новой съемки. Съемка влажности проводится в наиболее сухой период года, т. е. когда наблюдается наибольшая изменчивость влагозапасов по площади изучаемого объекта (водосбора).

Число скважин для съемки устанавливается по признаку сложности ландшафта водосбора. В качестве критерия сложности ландшафта водосбора принимается среднее квадратическое отклонение σ запаса влаги в почво-грунте: чем разнообразнее эти условия, тем больше σ и наоборот.

Среднее квадратическое отклонение равно корню квадратному из суммы квадратов отклонений влагозапасов в принятом слое почво-грунтов (1, 2, 3 м и т. д.) в каждом пункте — скважине W_i от среднего арифметического значения влагозапасов из всех пунктов $\bar{W}$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (W_i - \bar{W})^2}{n}}, \quad (15)$$

где n — число пунктов (скважин) для измерения влагозапасов на водосборе (объекте). Среднее квадратическое отклонение является показателем степени неравномерности распределения влагозапасов по площади объекта.

Ориентировочные значения σ запасов влаги для метрового слоя почвы на водосборах различной сложности таковы:

а) водосбор простой: рельеф, почва и растительность однородны на всей территории (равнина, суглинистый чернозем, степь); $\sigma = 10 \div 15$ мм;

б) водосбор сложный: отдельные его части отличаются или по рельефу, или почве, или растительности (например, склоны пологие и крутые, суглинистый чернозем, поля под сельскохозяйственными культурами и целиной, местами лес и кустарник); $\sigma = 30 \div 50$ мм;

в) водосбор очень сложный; в разных его частях не одинаковы рельеф, почва и растительность (пересеченный рельеф, почвы от глинистых до песчаных, лес, кустарник, поля, целина, выгон); $\sigma = 60 \div 90$ мм.

Число скважин n , необходимое для получения среднего влагозапаса в метровом слое почвы с погрешностью 15 мм, обеспеченной в 80% случаев, для водосборов различной сложности составляет: 5—7 для простого водосбора, 10—20 для сложного и 30—60 для очень сложного. Погреш-

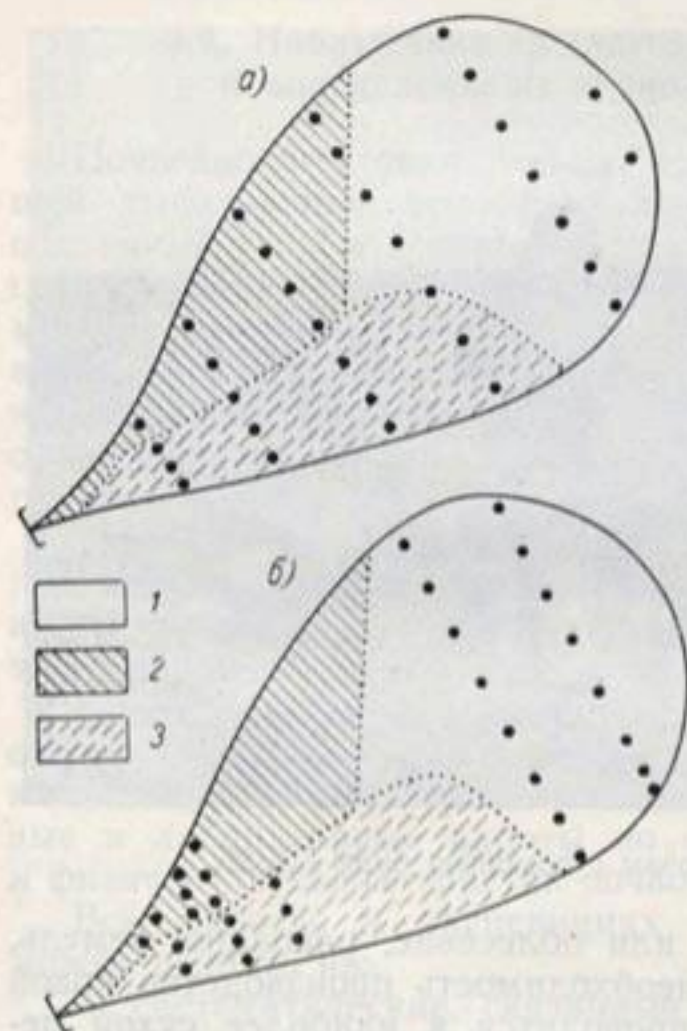


Рис. 24. Распределение скважин (шурфов) на водосборе по принципу механического (а) и типического (б) отборов.

1 — степь—целина; 2 — пашня; 3 — лес.

ность 15 мм близка к инструментальной погрешности метода определения влагозапасов.

Распределение скважин на водосборе производится по принципу механического отбора или типического отбора.

Принцип механического отбора заключается в равномерном размещении скважин (пунктов) на водосборе (рис. 24 а). Данный принцип размещения скважин оправдывает себя преимущественно на малых водосборах (менее 50 км²).

Принцип типического отбора заключается в размещении скважин (пунктов) на участках, охватывающих все многооб-

разие ландшафтов (целина, пахота, лес и пр.). Число необходимых пунктов для каждого ландшафта определяется в соответствии с весом каждого ландшафта в пределах водосбора, а именно

$$n_i = n \left(\frac{f_i \cdot 100}{F} \right), \quad (16)$$

где n_i — число скважин в пределах участка (ландшафта); n — общее число скважин на водосборе; f_i — площадь участка (ландшафта); F — общая площадь водосбора.

Назначенное количество скважин в пределах ландшафта распределяется (рис. 24 б) в соответствии с наличием почвенных разностей или разных угодий на водосборе с использованием формулы (16). Данный принцип размещения скважин справедлив и оправдывает себя на больших водосборах, а также на малых водосборах в малонаселенной местности при сильно пересеченном рельефе и резком различии в почвах и растительности.

При типическом отборе скважины по возможности размещаются вблизи от жилья наблюдателей. Вычисленная средняя арифметическая величина влагозапасов при расположении скважин по принципу типического отбора соответствует средней взвешенной величине.

Вычисление средних взвешенных влагозапасов в почво-грунтах на водосборе с расположением скважин по принципу механического отбора производится после предварительной группировки скважин по ландшафтам, с учетом веса ландшафтов в пределах водосбора и далее по формуле (16).

Если в воднобалансовых исследованиях предусматриваются наблюдения за влажностью почво-грунтов в пределах всей зоны аэрации, т. е. от поверхности почвы до уровня грунтовых вод, то соответственно должна быть увеличена глубина бурения и при съемке влажности. Следует отметить, однако, что наибольшие изменения запасов по площади водосбора наблюдаются до глубины 1,5 м.

Число скважин для съемки влажности почвы также устанавливается по признаку сложности ландшафта водосбора, ориентируясь на указанную величину σ запаса влаги метрового слоя почво-грунтов.

Места скважин на водосборе закрепляются колышками с соответствующим номером. Для съемки влажности, продолжающейся 1—2 дня, определяется число наблюдателей, рабочих и количество необходимого оборудования. Ориентировочный расчет: бригада из одного рабочего и наблюдателя за 8-часовой рабочий день может сделать 12—15 метровых скважин при талой почве и 8 — при мерзлой. Следовательно, на съемку влажности почвы сложного водосбора с точностью около 10 мм (40 скважин) за один день потребуются три

бригады в теплое время года и пять — в зимнее при наличии трех (пяти) буров (АМ-26) и 440 стаканчиков. Влагосъемка при глубоком (глубже 3 м) бурении, т. е. в пределах всей зоны аэрации производится отрядом с механической буровой установкой. Пробы на влажность отбираются в пределах верхнего метрового слоя через 10 см, до 2 м через 20 см и далее через 50—100 см в зависимости от сложности литологического профиля (степени однородности грунтов по механическому составу). При отсутствии механической буровой установки можно использовать ручной бур «Геолог», позволяющий отбирать пробы на глубине до 10 м. Бюксы (алюминиевые стаканчики) переносятся и транспортируются в специальных облегченных ящиках. Для съемки выбирается день без осадков. Продолжение съемки допускается, если количество выпавших осадков не более 5 мм; в противном случае съемка повторяется сначала.

Влажность почво-грунта вычисляется в процентах от его абсолютно сухого веса. Для пересчета процента влажности в слой воды в миллиметрах необходимо знать объемный вес почво-грунтов. Пересчет ведется по формуле

$$W = \frac{E \rho h \cdot 10}{100} = \frac{E \rho h}{10}, \quad (17)$$

где W — общее содержание влаги в почво-грунте, выраженное в виде слоя, мм; E — влажность, %; ρ — объемный вес, г/см³; h — мощность слоя почво-грунта, см; 10 — коэффициент для перевода запаса влаги из сантиметров в миллиметры.

На основании полученных данных производится статистический расчет в соответствии с рекомендациями, изложенными в указаниях [43].

Весь расчет сводится к определению оптимального количества пунктов наблюдений на водосборе, чтобы обеспечить вычисление влагозапасов с заданной (требуемой) точностью. Расчет выполняется в следующей последовательности.

1. Вычисляются запасы влаги в метровом слое почво-грунта в каждой точке (скважине) W_i и средний арифметический из всех точек $\bar{W}$.

При съемке влажности в пределах всей толщи зоны аэрации значения W_i и $\bar{W}$ для метрового слоя вычисляются после деления суммарных запасов по каждой скважине на глубину в метрах.

2. Вычисляется величина среднего квадратического отклонения σ по формуле (15).

3. Вычисляется ошибка выборочной средней, имеющей различную вероятность, по формуле

$$Z_\alpha = \frac{t_\alpha}{\sqrt{n-1}} \sigma, \quad (18)$$

где σ — среднее квадратическое отклонение по формуле (15); n — число определений; t_α — нормированное отклонение выборочной средней $\bar{W}$ от истинной средней.

Нормированное отклонение t_α вычислено для различной вероятности (обеспеченности) α и различного числа определений n и дается в курсах статистики в виде табл. 10, а также в работе [43].

Таблица 10

Распределение нормированных отклонений в малой выборке для значений t_α при $\alpha=0,80$

$n-1$	$\alpha=0,80$	$n-1$	$\alpha=0,80$	$n-1$	$\alpha=0,80$	$n-1$	$\alpha=0,80$
1	3,02	6	1,44	12	1,36	27	1,32
2	1,89	7	1,41	14	1,35	30	1,32
3	1,64	8	1,40	16	1,34	40	1,31
4	1,58	9	1,39	18	1,33	60	1,30
5	1,48	10	1,37	26	1,33	120	1,29

Для удобства сравнения ошибок их выражают в процентах от средних значений $\bar{W}$:

$$P_\alpha = \frac{Z_\alpha}{\bar{W}} \cdot 100\%, \quad (19)$$

В воднобалансовых расчетах допустимая относительная ошибка P_α не должна превышать 5% в засушливых и 10% в увлажненных районах.

4. По табл. 11 устанавливается число пунктов (скважин) n , достаточное для получения среднего запаса влаги в почво-грунте на водосборе с заданной погрешностью, т. е. достаточное для того, чтобы ошибка среднего запаса влаги, в миллиметрах) не вышла за заданные пределы при обеспеченности $\alpha=80\%$.

Таблица 11

Определение числа скважин n по среднему квадратическому отклонению σ для разных значений ошибки $Z_{0,80}$ при $\alpha=0,80$

σ	Значение ошибки $Z_{0,80}$ мм				σ	Значение ошибки $Z_{0,80}$ мм		
	2	5	10	15		5	10	15
3	6	3	2	1	35	51	23	11
5	13	4	3	2	40	104	29	14
7	23	6	3	3	45	134	36	17
10	41	9	4	3	50	164	44	20
15	93	17	6	4	60	200	62	28
20	164	28	9	5	70		84	39
25	256	41	12	7	80		108	50
30		59	17	9	90		166	76

5. Вычисляется средняя взвешенная величина запасов влаги в почве по количеству скважин, достаточному для ее вычисления при заданных $Z_{0,80}$, или P_α .

Если съемка влажности осуществлялась в пределах верхнего метрового слоя почво-грунта, вычисление средней взвешенной величины влагозапасов на водосборе уподобляется вычислению средней арифметической величины из числа скважин согласно соотношению, приведенному в табл. 11.

Если согласно указанной зависимости число пунктов (скважин) для вычисления средних влагозапасов с заданной точностью уменьшилось, то при определении средней взвешенной

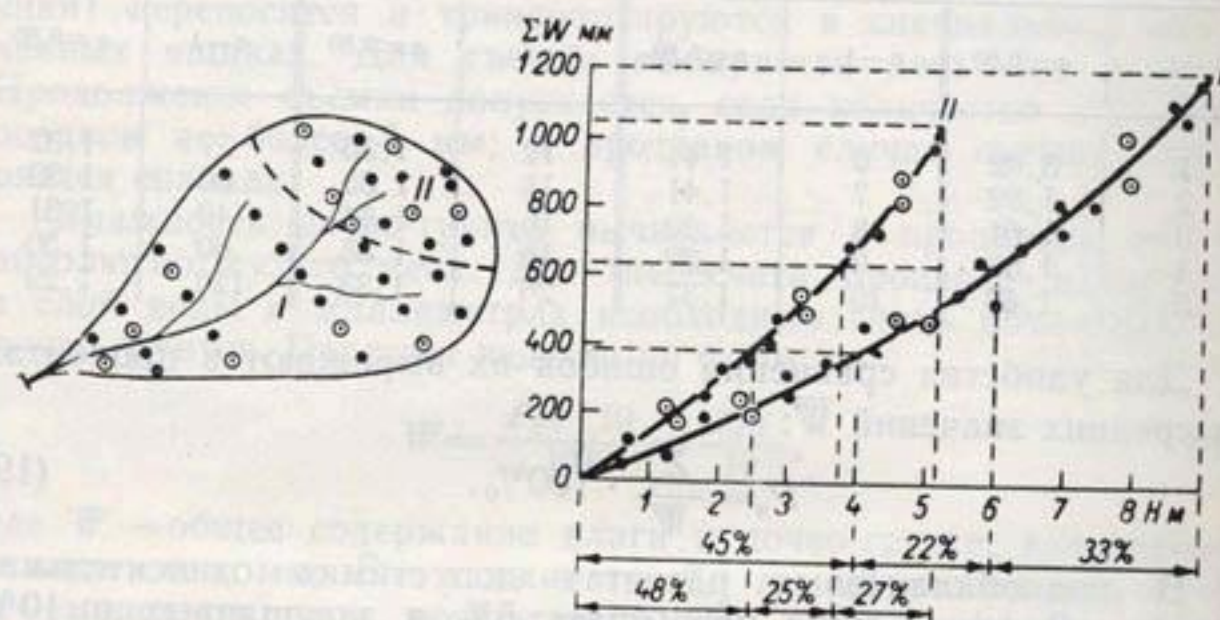


Рис. 25. Зависимость влагозапасов в почво-грунтах зоны аэрации W от глубины залегания грунтовых вод H на степном водосборе.

I — зона аэрации сложена суглинками; II — то же, супесями.

величины влагозапасов необходимо предварительно исключить лишние скважины пропорционально весу ландшафтов.

Средние взвешенные запасы влаги по съемке в пределах зоны аэрации вычисляются только после районирования площади водосбора по характеру литологического строения почво-грунтов. В качестве признака для проведения такого районирования принимается, например, процентное распределение грунтов различного механического состава от поверхности до уровня грунтовых вод. Кроме того, строится график зависимости величины влагозапасов в зоне аэрации от глубины залегания грунтовых вод (рис. 25).

В зависимости от кривизны линии связи на графике выделяется два-три относительно прямолинейных участка, в пределах которых выбираются скважины и вычисляется средняя взвешенная величина запаса влаги по формуле

$$\bar{W}_i = \frac{W_1 h_1 + W_2 h_2 + \dots + W_n h_n}{H}, \quad (20)$$

где $\bar{W}_i$ — средняя взвешенная величина запаса влаги; $W_1, W_2, \dots, W_n$ — средняя арифметическая величина запаса по пунктам в пределах заданного интервала глубины залегания грунтовых вод по графику; $h_1, h_2, \dots, h_n$ — интервалы глубин в процентах от общей глубины залегания грунтовых вод H в бассейне, которая принята равной 100%.

При наличии на графике двух и более кривых связи $W = f(H)$, что обусловлено наличием в пределах водосбора соответствующего количества районов с различным литологическим профилем зоны аэрации, вычисление $\bar{W}_i$ вышеуказанным способом необходимо производить для каждой кривой или района. Зная площади каждого района f_i в пределах общей площади бассейна F , средний взвешенный запас влаги вычисляется по формуле

$$\bar{W} = \frac{\bar{W}_1 f_1 + \bar{W}_2 f_2 + \dots + \bar{W}_n f_n}{F}. \quad (21)$$

В практике организации наблюдений для изучения водного баланса из общего числа скважин (пунктов) n , обеспечивающего вычисление $\bar{W}$ с заданной точностью P_α , часто выделяется несколько репрезентативных скважин, позволяющих вычислить $\bar{W}$ с той же точностью. Такая необходимость нередко возникает в связи с трудностями по обеспечению наблюдений по всем скважинам в сокращенные сроки.

Репрезентативные скважины выбираются путем сопоставления вычисленных средних взвешенных запасов влаги по всем пунктам и по сокращенному их числу. Если отклонения в значениях вычисленных запасов находятся в пределах точности вычисления P_α по полному количеству пунктов, скважины, входящие в сокращенное число, можно считать репрезентативными.

В дальнейшем вся программа наблюдений за влажностью в почво-грунтах зоны аэрации составляется применительно к репрезентативным пунктам. Программа составляется для всех гидрологических объектов (водосбор, стоковая площадка и т. п.).

Определение водно-физических свойств почво-грунта и вычисление почвенных констант производится в соответствии с указаниями руководств [51, 75].

Объемный вес. Наиболее важной водно-физической характеристикой почво-грунтов является объемный вес ρ . Объемным весом почво-грунта называют вес 1 см³ сухого почво-грунта с ненарушенным сложением. Он необходим для вычисления запаса влаги в почво-грунте, его общей порозности, полной и наименьшей влагоемкости. Таким образом, точность вычисления перечисленных водно-физических характеристик будет зависеть от погрешности определения объемного веса.

В полевых условиях при отрывке шурфов до глубины 1—2 м возможно определение ρ объемным буром Васильева или Качинского. Запись вычислений объемного веса и всех сопутствующих определений производится в книжках КСХ-4 «Книжка для записи полевых определений агрогидрологических свойств почвы».

Объемный вес пробы (г/см^3) вычисляется путем деления веса абсолютно сухой почвы в пробе, взятой цилиндром, на ее объем.

При бурении до уровня грунтовых вод пробы грунта отбираются при помощи геологического бура ударного или вращательного действия. Для отбора проб с ненарушенной структурой используются пробоотборники различной конструкции — от плоских цилиндрических для буров ударного действия до шнекообразных с гладкой цилиндрической полостью внутри. Взятые такими пробоотборниками керны, т. е. пробы ненарушенного сложения, обматываются марлей, парафинируются и отправляются в походную лабораторию для определения объемного веса. Следует указать на существующее мнение о том, что применение пробоотборников уплотняет грунт и завышает объемный вес примерно на 0,1—0,2.

Ниже даны ориентировочные значения объемных весов для грунтов на глубине более 0,5 м: песок — 1,30—1,45, супесь — 1,40—1,50, суглинок средний — 1,45—1,60 суглинок тяжелый — 1,60—1,80, глина — 1,70—1,90. В верхних слоях почв значения объемных весов могут иметь переменные значения в связи с производством сельскохозяйственных работ, различной степенью увлажнения, а также в результате промерзания. Следует особо отметить, что промерзшие, хорошо увлажненные (сверх наименьшей влагоемкости) почвы имеют существенно меньшее значение объемного веса, чем в талом состоянии (примерно на 0,2—0,3). Этот вопрос находится в настоящее время в стадии изучения, а некоторые результаты исследований периодически публикуются в Трудах ГГИ [21, 71].

Удельный вес. Под удельным весом почво-грунта понимают отношение веса твердой его части к весу равного объема воды (при 4°C). Удельный вес d определяется в лаборатории пикнометрическим способом, для сыпучих грунтов (песок) и монолитов (валуны, камни) — методом водовытеснения в градуированных колбах.

Удельный вес таких грунтов, как песок, супесь и суглинок мало изменяется по территории и принимается часто равным 2,63, для чернозема — 2,40, лесса — 2,70, и глины — 2,80 г/см^3 .

Влагоемкость почво-грунтов. Под влагоемкостью почво-грунтов понимается их способность вмещать и удерживать в себе то или иное количество воды. Численно величина влагоемкости выражается, как и влажность грунта, в процентах от абсолютно сухого грунта или в миллиметрах слоя воды.

Различают следующие виды влагоемкости: полную, капиллярную, наименьшую, максимальную молекулярную, максимальную гигроскопическую и влагоемкость, соответствующую увяданию растений.

Полной влагоемкостью (ПВ) называется максимальное количество воды, удерживаемое почво-грунтами при полном насыщении их водой.

Для вычисления ПВ предварительно вычисляется пористость почво-грунтов как отношение объема, занятого пустотами, ко всему объему грунта с ненарушенным естественным сложением.

Пористость P вычисляется по формуле

$$P = \frac{d - \rho}{d} \cdot 100, \quad (22)$$

где d — удельный вес, г/см^3 ; ρ — объемный вес, г/см^3 .

Полная влагоемкость выражается в процентах от веса абсолютно сухого почво-грунта, вычисляется по формуле

$$\text{ПВ} = \frac{P}{\rho} \quad (23)$$

и для песка, супеси, суглинка и лесса составляет 40—50%, для глины 45—55%.

Капиллярная влагоемкость (КВ) характеризует водоудерживающую способность почво-грунта в силу капиллярных его свойств. Капиллярную влагоемкость определяют по методу капиллярного насыщения водой образцов почво-грунтов с ненарушенным сложением.

Для ее определения используются цилиндры от бура Васильева, эксикатор, оборудование для определения влажности, кристаллизатор или ванночка. Капиллярная влагоемкость вычисляется по формуле

$$\text{КВ} = \frac{B - C}{C - A} \cdot 100, \quad (24)$$

где A — вес пустого цилиндра (кольца), г; B — вес цилиндра с грунтом (капиллярно-насыщенным водой), г; C — вес цилиндра с грунтом после сушки, г. Примерные значения КВ: песок — 5—10%, супесь 15—20%, суглинок средний — 25—30%, суглинок тяжелый — 30—40%, глина — 45%.

Максимальной молекулярной влагоемкостью (МВ) называется способность почво-грунта удерживать максимальное количество гигроскопической и пленочной воды.

Для определения МВ применяются методы высоких колонн, центрифугирования и влагоемких сред, или пленочного равновесия.

Максимальная гигроскопичность (МГ) характеризует максимальное количество водяных паров, способное

поглощаться почво-грунтами из воздуха, насыщенного или почти насыщенного парами воды. Наиболее характерной особенностью гигроскопической влаги в грунте является отсутствие способности ее к растворению солей.

Максимальную гигроскопичность определяют путем высушивания образца до постоянного веса при температуре 105—110°С. Образец предварительно увлажняют при условиях, исключающих поглощение почво-грунтами других видов связанной воды. Примерные значения МГ: песок — 1,5—2,0%, супесь — 5%, суглинок — 7—9%, суглинок тяжелый — 9—10%, глина — 12—15%.

Влажностью завядания (ВЗ) называется такая влажность почвы, при которой растения начинают завядать даже после длительного пребывания в атмосфере, насыщенной водяным паром.

Наиболее распространенным методом определения величины ВЗ является метод вегетационных миниатюр, заключающийся в определении влажности почв (грунтов), находящихся в баночках, после того, как завянут в них растения (например, овес). Примерные значения ВЗ для грунтов: крупно- и среднезернистый песок — 1—2%, мелкозернистый песок — 2—3%, супесь — 4—5%, суглинок легкий — 6—9%, суглинок средний — 12%, суглинок тяжелый — 13—15%, глина — 15—18%.

Наименьшая влагоемкость (НВ) характеризует наибольшее количество влаги, способное длительно удерживаться почво-грунтами без заметного стекания в условиях, исключающих испарение с почвы и капиллярное увлажнение со стороны почвенно-грунтовых или грунтовых вод. Для ее определения в полевых условиях выбирается ровная площадка размером 1,5×1,5 м. Рядом с площадкой (в 2—3 м от нее) закладывают две-три скважины для определения влажности толщи почвы до глубины предполагаемого определения величины НВ. Определив влажность подсчитывают запас влаги в почве. Величина объемного веса, если она еще неизвестна, принимается приблизительно равной 1,2 г/см³ для гумусового горизонта и 1,5 г/см³ для остальных горизонтов. Затем подсчитывают дефицит запаса влаги, считая, что запас, соответствующий НВ, в почвах глинистых и суглинистых равен 350 мм в верхнем метровом слое и 330 мм — в остальных нижележащих метровых горизонтах, в легкосуглинистых — соответственно 300 и 250 мм, в супесчаных — 250 мм и в песчаных — 150 мм. Исходя из величины дефицита запаса влаги, определяют количество воды, необходимое для промачивания почвы до заданной глубины, утраивая эту величину в расчете на потерю влаги на растекание ее в стороны. В песчаных почвах растекание бывает незначительным и здесь величину дефицита достаточно помножить на 1,5.

Выбранную площадку обваловывают или вдавливают по ее контуру квадратную раму из полосового железа с высотой бортиков не менее 10 см и заливают водой.

После того как все необходимое количество воды будет вылит на площадку и впитается последнюю необходимо защитить от испарения. Для этого поверхность площадки покрывают листом пергамина, толя, полиэтиленовой пленкой, оберточной толстой бумагой, пропитанной автолом, фанерой, слоем сена или соломы. При любом покровном материале площадка засыпается еще слоем почвы в 30—50 см.

Пробы на определение влажности на площадке отбираются последовательно через 1, 3, 5, 10 суток и т. д. до момента установления постоянной влажности в течение некоторого периода. Эта влажность и будет соответствовать величине наименьшей влагоемкости.

Примерные значения НВ для грунтов: песок крупно- и среднезернистый — 3—4%, песок мелкозернистый — 5—8%, супесь — 10—12%, суглинок легкий — 15—18%, суглинок средний — 20—24%, суглинок тяжелый — 22—28%, глина — 30—35%.

Кроме определения НВ способом залива площадок, широко распространен способ определения НВ по эпюрам влажности, построенным по данным наблюдений за влажностью почво-грунтов в зоне аэрации в отдельных пунктах водосборов. Величина НВ при однородном сложении почво-грунтов соответствует их влажности в зоне верхней части капиллярной зоны (рис. 26).

Водоотдачей называется способность почво-грунтов, насыщенных до полной влагоемкости, отдавать часть гравитационной влаги при понижении уровня грунтовых вод.

Коэффициент водоотдачи или удельная величина водоотдачи μ определяется по формуле

$$\mu = \frac{\rho (ПВ - НВ)}{100}, \quad (25)$$

где ПВ и НВ полная и наименьшая влагоемкость в процентах от веса грунта; ρ — объемный вес грунта, г/см³.

Вычисление μ по формуле (25) дает обычно преувеличенные результаты вследствие наличия заземленного воздуха в порах водовмещающих пород. Объем пор, заполненных воздухом (ЗВ), может составить 4—7% объема почвы, что соответствует 12—18% величины общей порозности. Поэтому для точного определения величины водоотдачи по указанной выше формуле необходимо пользоваться не величиной ПВ, а величиной ПВ—ЗВ.

Наиболее надежным способом определения коэффициентов водоотдачи водоносных грунтов является метод заливки монолитов, подробно изложенный в работе [19]. Однако этот метод очень трудоемкий и требует хорошего технического оснащения.

На основании многолетних экспериментальных работ с монолитами [19] была получена зависимость для определения μ по гранулометрическому составу грунтов

$$\mu = 0,118 \lg d_{30} + 0,235, \quad (26)$$

где d_{30} — диаметр фракции (мм) грунта, количественное содержание которого составляет 30% всего объема грунта. Этот диаметр определяется по результатам механического анализа грунтов, извлеченных (с нарушенной структурой) из скважин. Формула (26) дает погрешность расчета до 15%. Однако она

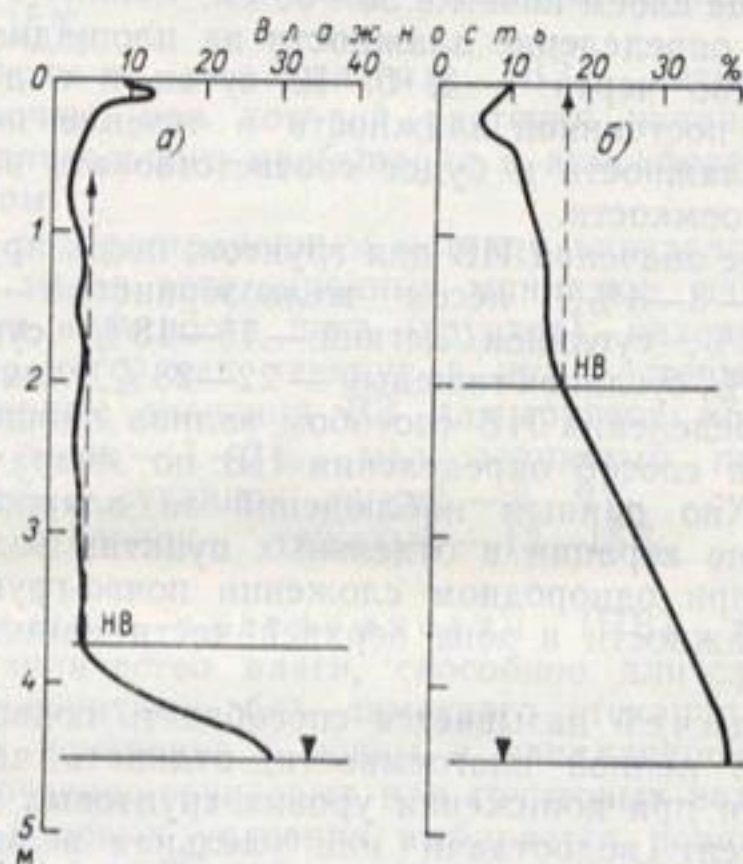


Рис. 26. Эпюры влажности для песчаных (а) и суглинистых (б) грунтов и значения наименьшей влагоемкости (НВ) на верхней границе капиллярной зоны.

была получена для грунтов Новгородской области и поэтому требует экспериментальной проверки для супесчаных и суглинистых грунтов других районов.

Наиболее полная сводка значений μ , а также способов их определений имеется в работе [19]. Ниже приводятся ориентировочные средние значения μ для разных водосодержащих грунтов, а также наиболее вероятные пределы изменений этих значений. Песок гравелистый 0,30 (0,25—0,35), крупнозернистый 0,25 (0,20—0,35), среднезернистый 0,18 (0,12—0,25), тонко- и мелкозернистый 0,10 (0,05—0,20), супесь легкая 0,09 (0,06—0,15), средняя 0,07 (0,04—0,10); суглинок легкий 0,05 (0,03—0,08), средний 0,03 (0,02—0,05), тяжелый 0,02 (0,005—0,03); известняки трещиноватые 0,05 (0,01—0,10).

3.10. Наблюдения за грунтовыми водами

Наблюдения производятся с целью изучения участия грунтовых вод в формировании стока рек и питания озер (водохранилищ), взаимосвязи между атмосферными, поверхностными и грунтовыми водами, влияния гидрогеологических условий, растительного покрова на величину и характер питания грунтовых вод.

Наблюдения за грунтовыми водами состоят из измерения колебаний уровня и температуры воды. Для специальных целей состав наблюдений может быть расширен (определение химического состава, физических свойств воды, расходов грунтового потока, дебита источников и т. д.).

Наблюдения за уровнем грунтовых вод производятся в специально оборудованных смотровых скважинах. Выбор участков и размещение на них смотровых скважин производятся после предварительного ознакомления с геологическими и гидрогеологическими условиями водосбора по литературным данным и фоновым материалам. При этом основное внимание следует обратить на получение геологических разрезов до водоупорного слоя. Если имеющегося материала для этой цели недостаточно, должны быть проведены специальные разведочные работы с учетом геоморфологического строения водосбора.

При организации наблюдательной гидрогеологической сети на балансовых водосборах весьма важным условием является правильное размещение скважин, которое обеспечивало бы достоверное вычисление изменений средних запасов грунтовых вод $\Delta \bar{U}$ по формуле

$$\Delta \bar{U} = \mu \Delta H, \quad (27)$$

где μ — коэффициент водоотдачи; ΔH — изменение уровня грунтовых вод за расчетный период, мм.

После изучения всей имеющейся информации по гидрогеологии, дополненной непосредственной визуальной разведкой шахтных и буровых колодцев, обнажений и т. п., производится выделение районов на водосборе, однородных по характеру литологического строения почво-грунтов зоны аэрации, и назначается минимальное количество разведочных скважин (не менее 10—20) в зависимости от количества выделенных литологических районов. В качестве примера (рис. 27) показано районирование водосбора по характеру литологического строения почво-грунтов зоны аэрации. В пределах каждого литологического района назначается не менее 3—8 скважин с наибольшим охватом амплитуды глубин залегания зеркала грунтовых вод.

Для ориентировочной прикидки числа скважин, необходимого для получения $\Delta \bar{U}$ с желаемой точностью в зоне недостаточного

увлажнения (Казахстан, Поволжье и т. п.), можно воспользоваться следующими рекомендациями:

а) водосбор простой: рельеф, почва и растительность относительно однообразны на всей территории; литологический профиль почво-грунтов зоны аэрации однороден в пределах всего водосбора; $\sigma = 2 \div 3$ мм; $Z_{0,80} = 2$ мм;

б) водосбор сложный: части его отличаются по рельефу или почве, или растительности (склоны пологие и крутые, суглини-

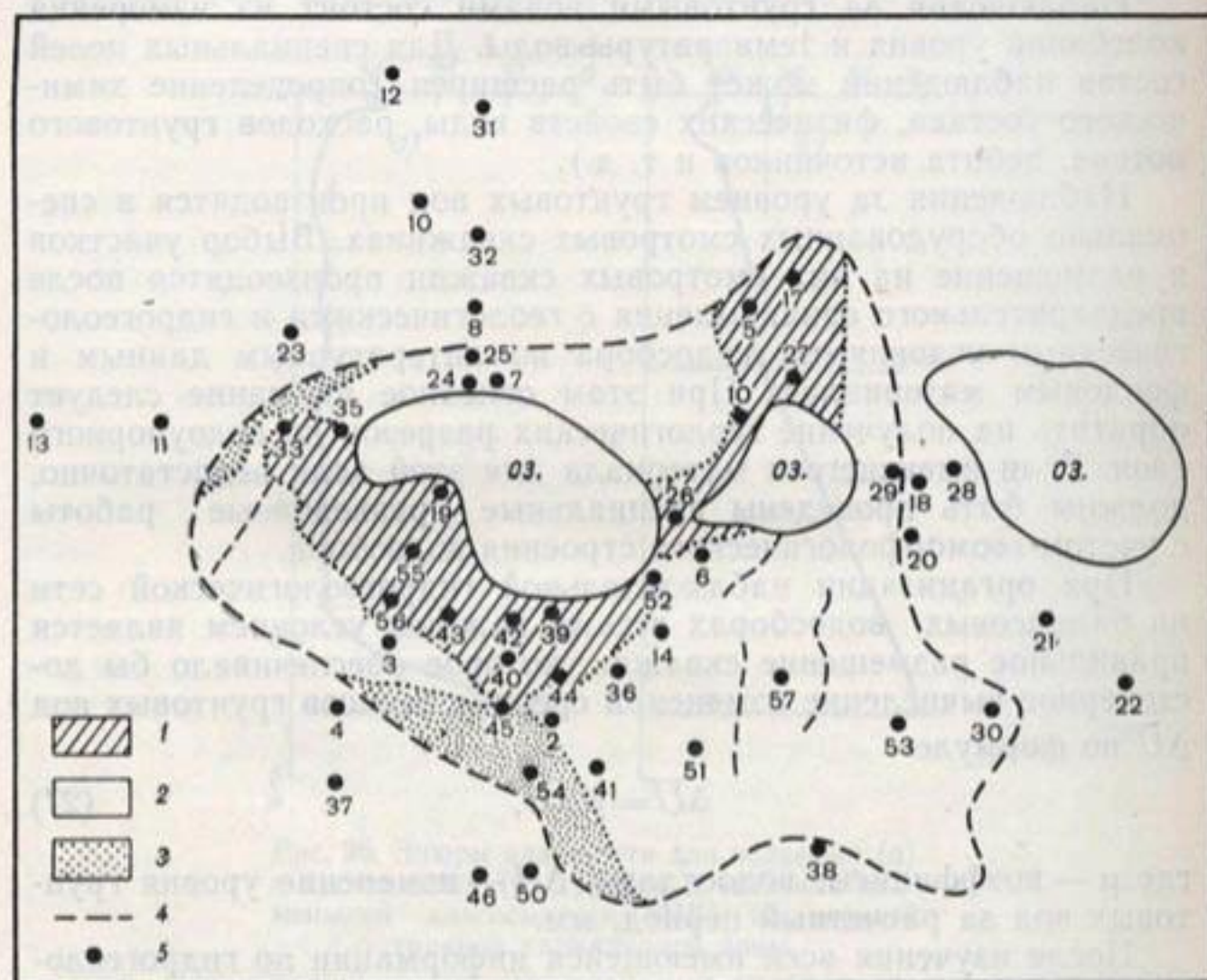


Рис. 27. Литологические районы водосбора озер.

1—3 — номера районов, 4 — водораздел, 5 — скважина грунтовых вод и ее номер.

стый чернозем, поля под сельскохозяйственными культурами и целиной, местами лес и кустарник); участков с различным литологическим профилем почво-грунтов зоны аэрации не менее двух и не более трех; $\sigma = 3,5 \div 4,5$ мм; $Z_{0,80} = 2$ мм;

в) водосбор очень сложный: в разных его частях различны рельеф, почва и растительность; участков с различным литологическим профилем почво-грунтов зоны аэрации более трех; $\sigma = 5,0 \div 5,5$ мм; $Z_{0,80} = 2$ мм.

Наблюдения по временным разведочным скважинам производятся в течение сезона, года. Полученная информация по ΔU_i

за одинаковые расчетные периоды обрабатывается согласно рекомендациям для малой выборки [43] и вычисляются σ и Z_α . При этом величина вероятной ошибки $Z_{0,80}$, т. е. в 80% случаев, не должна превышать 20—25% вычисленной средней величины ΔU .

По табл. 11 и вычисленным данным (σ и Z_α) определяется необходимое количество скважин на водосборе. После этого скважины окончательно оборудуются в качестве наблюдательных с оформлением необходимой технической документации согласно рекомендациям [42, 80].

Все скважины на водосборах, по которым информация используется для составления балансов, должны обеспечивать наблюдения за режимом грунтовых вод верхнего водоносного горизонта.

В расчетах водного баланса водосборов за любой интервал времени (декада, месяц, сезон, год) компонентами уравнения являются, как правило, средние взвешенные величины. Это касается осадков, стока, испарения, влагозапасов в почво-грунтах, а следовательно, изменений запасов грунтовых вод.

Средние взвешенные величины изменения запасов грунтовых вод вычисляются аналогично средним взвешенным запасам влаги в почво-грунтах зоны аэрации.

3.11. Наблюдения на болотах и заболоченных землях

Наблюдения на болотах и заболоченных участках производятся с целью:

а) изучения влияния болот и заболоченных участков на сток с водосборов (потери паводочного стока, трансформация гидрографов стока, питание водотоков в межень);

б) определения запасов воды в болотах для расчетов водного баланса водосборов за отдельные промежутки времени;

в) получения региональных данных о водном режиме болот, необходимых при планировании и осуществлении мелиоративных мероприятий.

В состав работ на болотах и заболоченных участках входят наблюдения за уровнями воды, осадками, высотой и плотностью снежного покрова, глубиной промерзания торфяной залежи, а также периодические нивелировки водомерных устройств и поверхности болот.

Описания болот и разрезов торфяной залежи выполняются в соответствии с рекомендациями Методических указаний [41] и Наставления [62].

На водосборах, площадь которых менее 3 км², наблюдения проводятся на всех болотах и заболоченных участках. При большей площади водосборов наблюдения организуются только на наиболее распространенных болотных микроландшафтах и заболоченных участках. Если на воднобалансовых водосборах болотных массивов нет, но они имеются на других водосборах района

работ экспедиции, наблюдения организуются на основных микроландшафтах одного-двух типичных для района исследований болотных массивов.

Организация и производство наблюдений на больших болотах (площадью более 0,2 км²) и болотных массивах, расположенных на водосборах, выполняются с учетом указаний, изложенных в Наставлении [62].

Ниже даются необходимые сведения для организации наблюдений на заболоченных участках и небольших болотах, ширина и длина которых менее 0,3—0,5 км.

Наблюдения за уровнями воды производятся по водомерным скважинам (постам), оборудованным обсадными деревянными трубами квадратного сечения и устройством для измерения уровней. Одновременно с оборудованием скважин устанавливаются репера, отметки которых связываются нивелировкой с отметками водомерных устройств. При мелкозалежных болотах репера могут оборудоваться непосредственно у скважин, при глубокозалежных — на суходолах.

Подробное описание измерительных устройств, конструкций скважин и эксплуатационных работ дается в Наставлении [62] и Руководстве [80].

На небольших болотах и крупных заболоченных участках (шириной от 0,2 до 0,5 км) устанавливаются три водомерные скважины: одна — в центре, вторая — на половине расстояния между центральной скважиной и ближайшей бровкой болота, а третья — в 20—50 м от истока ручья (лога), вытекающего из болота (заболоченного участка).

На небольших заболоченных участках (шириной менее 0,2 км) устанавливается одна водомерная скважина по возможности в центре.

Желательно проводить параллельные наблюдения за выпадением осадков и колебаниями уровней воды по самописцам для приближенного определения послойных коэффициентов водоотдачи торфяной залежи, а также для изучения трансформации стока дождевых паводков. Самописцы уровня воды устанавливаются в местах с наиболее распространенными типами болотных микроландшафтов.

На небольших болотах и заболоченных участках в меженные периоды года уровни воды измеряются в сроки наблюдений за уровнями грунтовых вод, т. е. один раз в 5 дней, а в паводочные периоды — ежедневно. Наблюдения производятся каждый раз примерно в одно и то же время — в первую половину дня.

Запас воды в болоте (выраженный в виде слоя в мм) в районе скважины вычисляется над условным горизонтом воды по формуле

$$X_a = 10 \sum_{Z=90}^{Z=h} \Delta Z \mu, \quad (28)$$

где ΔZ — слой торфяной залежи мощностью 1—5 см; μ — коэффициент водоотдачи торфяной залежи, соответствующий слою ΔZ на высоте уровня Z ; h — уровень воды в болоте (см) по данным наблюдений в скважине; $Z=90$ — условный горизонт воды (см), ниже которого уровни обычно не опускаются.

Послойные коэффициенты водоотдачи торфяной залежи в районе каждой водомерной скважины принимаются по справочным данным с учетом типа болотного микроландшафта, а для скважин, оборудованных самописцами уровней, — опытным путем по данным наблюдений за ходом уровней воды и осадков. В табл. 12 даются осредненные примерные значения послойных коэффициентов водоотдачи для трех основных типов болотных микроландшафтов. Данными этой таблицы можно пользоваться только для приближенной оценки запасов воды в заболоченных понижениях и небольших болотах, например в целях расчета водного баланса водосборов при заболоченности менее 20%.

Таблица 12

Приближенные осредненные значения коэффициентов водоотдачи μ торфяной залежи для основных типов болотных микроландшафтов

Уровень от средней поверхности болота, см	Низинные типы, $\Delta h = 10$ см	Переходные типы со средней степенью разложения торфяной залежи $\Delta h = 20$ см	Верховые типы, $\Delta h = 25$ см	Уровень от средней поверхности болота, см	Низинные типы, $\Delta h = 10$ см	Переходные типы со средней степенью разложения торфяной залежи $\Delta h = 20$ см	Верховые типы, $\Delta h = 25$ см
—15	1,0	1,0	1,0	25	0,12	0,25	0,20
—10	1,0	1,0	1,0	30	0,11	0,22	0,18
—5	0,90	0,95	0,95	40	0,10	0,20	0,16
0	0,75	0,92	0,85	50	0,10	0,18	0,15
5	0,40	0,85	0,75	60	0,10	0,16	0,13
10	0,20	0,70	0,60	70	0,10	0,15	0,12
15	0,16	0,40	0,30	80	0,10	0,15	0,12
20	0,14	0,30	0,25	90	0,10	0,15	0,12

При использовании коэффициентов водоотдачи, взятых из литературных и других источников, необходимо учитывать, для какой средней поверхности микрорельефа приводятся данные по μ , а также учитывать сведения о величине Δh . Эта величина, представляющая разность между средними отметками повышенных и пониженных микрорельефа, позволяет сделать приближенную приводку послойных коэффициентов водоотдачи к любой поверхности болота, от которой отсчитывается уровень воды.

Для вычисления запаса воды в болоте определяются сначала запасы воды в районе каждой водомерной скважины по формуле (28). Далее, для каждого болота вычисляется запас воды в нем с учетом доли площади данного микроландшафта f_i , на которую

можно распространить показания каждой водомерной скважины, т. е.

$$X_a = X_{a1}f_1 + X_{a2}f_2 + \dots + X_{an}f_n. \quad (29)$$

Результаты расчетов записываются в табличной форме.

Затем вычисляются объемы воды (m^3) в каждом болоте и заболоченном участке, а также суммарный объем ($\sum X_a$) на каждую дату. Делением суммарного объема на площадь водосбора определяется средний взвешенный запас воды в болотах на водосборе (мм). Изменение запасов воды в болотах вычисляется как разность средних взвешенных запасов на конец и начало расчетного интервала времени.

Приближенно запасы воды в болотах на водосборах можно определить как среднее арифметическое из запасов воды, рассчитанных по данным отдельных скважин без учета видов болот и микроландшафтов. При расчетах водных балансов водосборов средний запас воды в болотах $\bar{X}_a$ умножается на долю площади водосбора $f_{бол}$, занятую болотами и заболоченными участками.

При наличии льда в болотах и на заболоченных участках запасы воды в районе каждой скважины вычисляются по отметке поверхности льда, причем значения коэффициентов водоотдачи торфяной залежи принимаются такими же, как для тающего их состояния.

3.12. Наблюдения за глубиной промерзания и оттаивания почвы

Наблюдения имеют целью изучение влияния этих факторов на формирование склонового стока и потерь стока за счет впитывания воды в почву.

Глубина промерзания почвы определяется по мерзлотомеру Данилина, а при отсутствии его с помощью почвенного бура АМ-26 или путем отрывки шурфов. Последнее применяется также для контроля показаний мерзлотометров. Глубина оттаивания может определяться металлическим шупом.

Устройство мерзлотомера Данилина, его установка и организация наблюдений описаны в Руководствах [77, 80]. Наблюдения проводятся обычно один раз в декаду, а в период снеготаяния — ежедневно.

Пункты наблюдений располагаются на каждом участке наблюдений за влажностью с охватом всех ландшафтов в пределах водосбора.

Примерное количество пунктов наблюдений n за глубиной промерзания почв на водосборах для надежного определения средней величины с заданной погрешностью 10% зависит от средней глубины промерзания L :

$L_{см}$	10	20	30	40	50	70	90
n	135	62	44	24	19	14	10

Для заданной погрешности (15%) количество необходимых пунктов уменьшается в 2—2,5 раза. Эта зависимость правомерна для полевых и лесных участков водосборов и основана на связи средних глубин промерзания почвы с коэффициентом вариации, характеризующим пространственную неравномерность глубин промерзания [20].

3.13. Воднобалансовые наблюдения на водохранилищах и озерах

Изучение и расчет водного, теплового и солевого балансов выполняется как для действующих водохранилищ и озер с естественным водным режимом [81], так и для проектируемых водохранилищ, а также озер, на которых возможны изменения этих балансов в связи с хозяйственным использованием водных ресурсов. В настоящем разделе рассматриваются вопросы, касающиеся организации наблюдений только за элементами водного баланса водоемов. Следует отметить, что расчет теплового и солевого балансов невозможен без данных о водном балансе водоемов.

Стационарная гидрометеорологическая сеть Гидрометслужбы СССР на водохранилищах и озерах включает специализированные гидрометеорологические обсерватории, озерные станции, плавучие гидрометеорологические станции и озерные гидрометеорологические посты, работа которых регламентируется Наставлениями [56, 61] и Руководством [81]. Эта сеть станций и постов производит комплекс наблюдений за осадками и другими метеорологическими элементами на береговых и островных постах и плавучих станциях, за уровнями воды в прибрежной зоне и на островах, за толщиной ледяного покрова и запасом воды в снеге на акватории водохранилищ (озер) и в прибрежной зоне, за испарением с поверхности воды по испарителям, установленным на суше и в водоеме. Кроме того, станции и обсерватории собирают данные о стоке рек, питающих водохранилища (озера), о сбросах из водохранилищ воды через ГЭС, из коллекторов, а также об объемах водозабора из водохранилищ на промышленные, коммунальные, сельскохозяйственные и другие цели и контролируют учет основного стока воды из водохранилищ через ГЭС и другие гидротехнические сооружения. Учет стока рек производится гидрологическими станциями и постами Гидрометслужбы в соответствии с Наставлениями [54, 60] а на гидротехнических сооружениях — различными ведомствами и учреждениями в соответствии с Инструкциями [16, 17].

К дополнительным нестандартным работам относятся наблюдения за стоком малых рек и ручьев, впадающих в водоем («боковая приточность»), за испарением и влажностью переувлажненных почв в береговой зоне, за испарением с зарастающих участков водохранилищ, за уровнями грунтовых вод в береговой зоне. Эти наблюдения организуются как гидрометеорологическими обсерваториями, так и экспедициями.

Результаты экспедиционных и стационарных исследований используются для расчета водного баланса действующих и проектируемых водохранилищ (озер) и режима их работы.

Ниже рассматриваются вопросы организации нестандартных наблюдений до и после создания водохранилищ.

Для оценки величин береговой приточности организуются наблюдения за стоком небольших типичных рек и ручьев в соответствии с Наставлениями [54, 60]. Данные по стоку этих рек должны быть репрезентативными для прибрежной зоны водохранилища, поэтому для их выбора выполняется детальное физико-географическое обследование района прибрежной зоны проектируемого или действующего водохранилища. Измеренная водность малых рек увязывается по месяцам, сезонам и за год с водностью ближайших рек, сток которых систематически измеряется. При наличии удовлетворительных связей стока наблюдения на выбранных малых реках прекращаются. При отсутствии таких связей ставится вопрос об организации многолетних наблюдений на типичных малых реках, впадающих в водохранилища, если объем боковой приточности играет существенную роль в водном балансе водохранилища.

Наблюдение за испарением и влажностью почв на переувлажненных участках суши прибрежной зоны водохранилищ производится с целью выяснения дополнительных потерь воды на испарение с подтопленных береговых площадей, а также с обсыхающих площадей ложа водохранилищ при летнем понижении уровней воды.

Для наблюдений за испарением с переувлажненных подтопленных участков используются испарители ГГИ-500-50, ГГИ-500-1000, ГГИ-Б-1000 и взвешиваемые лизиметры с различной глубиной грунтовых вод. Наблюдения организуются на типичных по почво-грунтам и ветровому режиму участках местности.

Для приближенной оценки различий в величинах испарения с подтопленных и обсыхающих участков водохранилищ рекомендуется использовать специальные формулы и положения [91]. В соответствии с этими рекомендациями испарение с обсыхающего ложа в первую декаду будет больше испарения с водной поверхности в 1,3 раза в степной и полупустынной зонах и в 1,2 раза в лесостепной и лесной зонах. В последующие декады эти соотношения будут уменьшаться до единицы и менее в зависимости от степени обсыхания почв и метеорологического режима.

Наблюдения за испарением с участков, зарастающих водной

растительностью, также актуальны, так как величины испарения с таких участков в большинстве месяцев теплого периода больше, чем с поверхности воды в 1,3—1,5 раза [91]. По мнению некоторых исследователей, испарение с зарастающих участков больше, чем с водной поверхности всего в 1,0—1,1 раза, а по мнению других, — в 2—3 раза. Такое различие в оценке испарения связано, по-видимому, с большой трудоемкостью, технической сложностью и методической неясностью производства наблюдений за испарением с водоемов, заросших влаголюбивой растительностью. Для этой цели обычно применяются испарители ГГИ-3000, устанавливаемые по две штуки с каждым видом преобладающей для данного водоема водной растительности (тростник, камыш, рогоз, хвощ, осока, ряска, кувшинки и проч.) в зоне распространения этой растительности, а также один-два испарителя на свободной водной поверхности.

Наиболее сложным является выбор участков с ветровым режимом, аналогичным остальным участкам, заросшим водной растительностью. Не менее сложным является зарядка испарителей водной растительностью, густота и состояние которой в испарителе должны все время соответствовать окружающей заросшей акватории водоема. При зарядке испарителей повреждается водная растительность, в том числе и ее корневая система, что приводит к отмиранию растительности. Технические трудности измерения испарения заключаются также в поддержании соответствующей высоты бортиков испарителей по отношению к уровню воды в водоеме и в защите испарителей от захлестывания их волнами.

Результаты изучения испарения с водной поверхности опубликованы в ряде работ [37, 38, 40].

Наблюдения за уровнями грунтовых вод в береговой зоне водохранилищ и на обсыхающих участках ложа производятся с целью определения подземной емкости водохранилища и динамики этой емкости в различные периоды года, т. е. динамики изменений запасов подземных вод, относящихся к полезной суммарной емкости водохранилища. Для этого устанавливается ряд створов скважин на типичных в гидрогеологическом отношении участках (по глубине залегания грунтовых вод и грунтах, подлежащих сезонным затоплениям). Расстояния между скважинами будут различными в зависимости от грунтов, слагающих берега и ложе водохранилища, а также уклонов зеркала грунтовых вод. Однако во всех случаях первая скважина располагается в непосредственной близости от бровки водохранилища (в 10—30 м), определяемой по наивысшей отметке уровня воды в нем, вторая — на расстоянии 30—50 м от первой, третья — на расстоянии 50—150 м от второй и далее через 200—500 м друг от друга до места, где предположительно не будет наблюдаться подпора грунтовых вод. На обсыхаемых участках ложа водохранилища скважины располагаются на расстоянии 100—

1000 м друг от друга в зависимости от ширины обсыхаемой береговой полосы.

Скважины устанавливаются для наблюдений за уровнями как первого, так и второго водоносных горизонтов, если последний будет испытывать переменный подпор от водохранилища. Наблюдения проводятся обычно не чаще одного раза в 5 суток, но и не реже одного раза в месяц.

Непременным условием является определение коэффициентов водоотдачи водоносных грунтов, без знания которых теряется смысл наблюдений за изменением аккумулирующей подземной емкости водохранилища. Вычисление изменений запасов грунтовых вод выполняется в соответствии с Руководством [81].

В некоторых случаях наблюдения за уровнями подземных вод производятся для выяснения возможного оттока грунтовых вод за пределы водосбора водохранилища. Такое явление может иметь место при большом подъеме уровней воды в водохранилище и низкой (по отметкам местности) водораздельной линии. Наличие оттока будет определяться по уклону грунтовых вод, направленному от водохранилища за линию поверхностного водораздела. Для решения вопроса о количестве оттекающей подземным путем воды следует определить площадь, на которой происходит это явление, уклоны зеркала грунтовых вод, мощность водоносного пласта и коэффициенты фильтрации водосодержащих пород. Расход грунтового потока вычисляется по известным в гидрогеологии формулам [11, 23, 86].

Данные перечисленных здесь стандартных и нестандартных наблюдений позволяют рассчитать водный баланс водохранилищ и озер за любой период времени (но не менее одной декады) по полной формуле уравнивания водного баланса водохранилища.

3.14. Активный эксперимент в воднобалансовых исследованиях

Эксперимент в гидрологии является методом «... детального изучения физических закономерностей гидрологических процессов в заданных, искусственно созданных или подобранных в природе условиях» [97]. С помощью эксперимента исследуются закономерности поглощения воды почвой и стекания ее со склонов, испарение с поверхности воды и суши, влияния агролесотехнических мероприятий на сток и много других явлений, определяющих в комплексе сложные гидрологические процессы [97].

Эксперименты в гидрологии можно подразделить на два вида: простой, или пассивный, и активный. Все эксперименты основаны на методе сравнения. Метод предусматривает на сравниваемых объектах равенство всех факторов, влияющих на изучаемый элемент водного баланса, кроме одного или группы однородных факторов. Например, сопоставление за разные по увлажненности периоды и годы величин стока с облесенного и открытого водосборов, имеющих совершенно одинаковые поч-

венно-гидрогеологические и морфометрические характеристики; сопоставление величин испарения с открытой водной поверхностью и с водной поверхностью при наличии растительности; сопоставление величин испарения с одинаковых почв при разной глубине залегания грунтовых вод или при одинаковой глубине залегания грунтовых вод, но разном солевом их составе и т. п.

В простом эксперименте изучение влияния разнообразия ландшафтных факторов на элементы баланса требует производства наблюдений в течение длительного периода для охвата всей возможной амплитуды колебаний климатических факторов.

Объектами исследований служат парные или кустовые водосборы и стоковые площадки [68, 80, 91], группы испарительных площадок и т. п., расположенные весьма близко друг к другу, чтобы климатические факторы каждого года и сезона были совершенно одинаковыми для сравниваемых объектов.

Активный эксперимент предусматривает изучение изменения какого-либо одного элемента водного баланса в результате хозяйственной деятельности человека (вырубка и посадка леса, внесение удобрений, изменение молекулярного состава поверхностной пленки воды и т. п.). Активный эксперимент может быть проведен также путем моделирования естественных природных условий (иссушение или увлажнение почв, их промораживание, усиление и ослабление интенсивности снеготаяния, дождевание и т. д.), влияющих на соотношение элементов водного баланса.

Моделирование природных условий сокращает период исследований в несколько раз и позволяет наметить физически обоснованную модель формирования изучаемого процесса. Например, в течение 4—5 лет можно определить основные соотношения в величинах склонового стока при различной глубине промерзания и разной степени увлажнения почв; за этот же срок можно составить представление о различиях в величинах суммарного испарения сельскохозяйственных культур при сильно и слабо удобренных почвах и т. д. Еще более сокращают период исследований лабораторные работы, моделирующие процессы инфильтрации воды, испарения, миграции влаги и т. д. на небольших почвенно-грунтовых монолитах.

Таким образом, активный эксперимент достаточно полно и быстро позволяет количественно определить основные формы и направления процессов формирования изучаемого элемента водного баланса. Для этого используются небольшие водосборы ручьев и логов, стоковые и воднобалансовые площадки, лизиметры, группы испарителей разных классов и лаборатории.

Некоторые сведения о постановке и результатах активных экспериментов на водосборах и стоковых площадках приводятся в работах [25, 31, 91], а также [21, 71]. Активный эксперимент в таком понимании должен занимать ведущее место в реализации программ экспедиционных воднобалансовых исследований.

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Примеры использования результатов экспедиционных водно-балансовых наблюдений для решения отдельных задач даются в основном применительно к рассмотренным в главе 2 программам исследований, а также по материалам других экспедиционных работ. Для решения конкретных задач схемы уравнения водного баланса, рассмотренные в главе 1, преобразуются в другие виды относительно искомого элемента баланса и даются дополнительные соотношения элементов водного баланса. Условные обозначения элементов баланса приняты в соответствии с главой 1.

Результаты рассматриваемых здесь исследований частично опубликованы в различных изданиях, а также использованы в монографиях «Ресурсы поверхностных вод». Однако основной объем материалов и результаты экспедиционных исследований помещены в различных отчетах, статьях, монографиях [4, 36].

4.1. Сток и водный баланс водосборов в период весеннего половодья в бассейне р. Шелони

Основным результатом экспедиционных исследований в бассейне р. Шелони является вывод о том, что даже в районах с избыточным увлажнением основное влияние на формирование всех характеристик стока и потерь весенних вод оказывают механический состав почво-грунтов, глубина залегания грунтовых вод, облесенность и заболоченность водосборов. Эти факторы наиболее контрастно проявляются в периоды подъема и спада половодья. Против всех ожиданий не получены четкие связи между величинами максимальных модулей стока и площадью водосбора (рис. 28), его облесенностью и заболоченностью. Отсутствуют также определенные связи между коэффициентом стока весеннего половодья и указанными факторами. Так, при одинаковых площадях и облесенности водосборов различия в максимальных модулях стока достигают 3—4 раз. Однако

общая тенденция уменьшения максимального стока с ростом площади водосбора имеется и соответствует показателю редукции n , равному 0,25 в известной формуле для расчета максимального стока весеннего половодья [85].

Анализ условий формирования весеннего стока и водных балансов за периоды подъема и спада половодий позволили сделать заключение, что отсутствие связи между максимальными величинами стока, коэффициентами стока и площадью водосбора, облесенностью и заболоченностью обуславливается тем, что значительное влияние оказывают также состав почво-грунтов, глубина залегания грунтовых вод, рельеф местности, типы

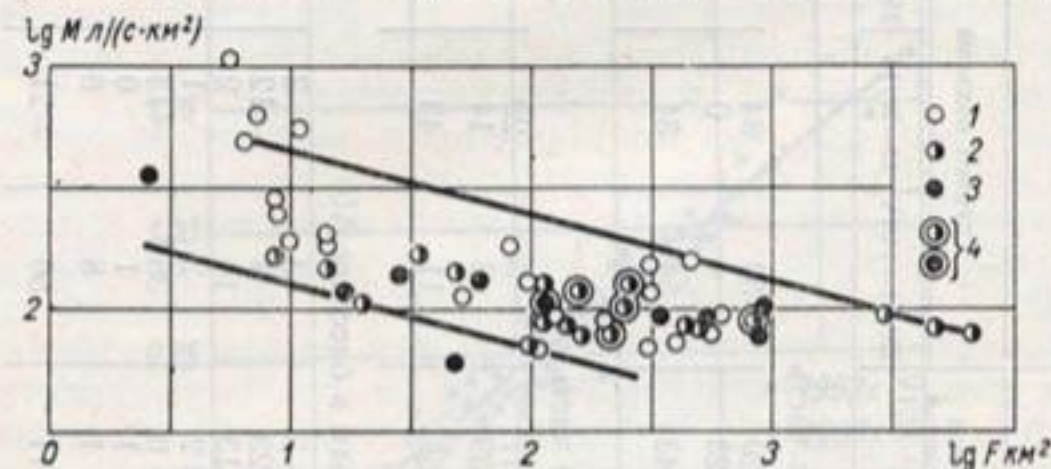


Рис. 28. Графики связи максимальных модулей весеннего стока M с площадью водосбора F для рек бассейна р. Шелони, 1963 г.

1 — облесенность водосборов менее 40%; 2 — то же, от 40 до 60%;
3 — то же, более 60%; 4 — заболоченность более 30%.

болот и заболоченных участков, густота речной сети, видовой состав и полнота леса.

Рельеф местности и характер леса сильно влияют на дружность снеготаяния. В. И. Корзун [25] убедительно показал наличие асинхронности в процессах стекания талых вод со склонов различных экспозиций и сделал вывод о том, что на сравнительно небольших полевых водосборах максимальный сток будет тем больше, чем более дружно проходит снеготаяние. Последнее имеет место на плоских водосборах, а на водосборах с расчлененным рельефом таяние снега растягивается, что уменьшает максимальные модули стока и суточные величины сброса талой воды.

К сожалению, материалы, подтверждающие аналогичный вывод для облесенных водосборов с разным их видовым составом и полнотой, отсутствуют, так как организация таких исследований очень сложна в связи с тем, что видовой состав леса во многом обуславливается механическим составом почво-грунтов и глубиной залегания грунтовых вод. Вместе с тем известно, что состав почв сильно влияет на максимальные величины и слой стока весеннего половодья [25]. Поэтому к недостаткам

Таблица 13

Водный баланс бассейна р. Шелони в различные фазы весеннего половодья (мм)

Элементы водного баланса	1962 г.				1963 г.			
	период подъема		период спала	период половодья	период подъема		период спала	период половодья
	25/III—6/IV	7—13/IV	14—27/IV	25/III—13/IV	25/III—14/IV	15—20/IV	21/IV—5/V	25/III—5/V
А. Приходная часть								
Убыль снегозапасов	65	47	8	112	50	34	84	84
Осадки	11	4	8	15	4	0	4	14
Сумма	76	51	16	127	54	34	88	98
Б. Расходная часть								
Сток	3	52	62	55	5	29	34	72
Испарение	3	13	23	16	6	14	20	42
Сумма	6	65	85	71	11	43	54	114
В. Изменение запасов воды в бассейне ΔU								
В наледях	-2	-1	-2	-3	-3	-3	-6	-10
В почво-грунтах	0	-7	-16	-7	-4	-12	-16	-26
В грунтовых водах	7	7	-1	14	10	2	12	11
В лужах	9	-6	-1	3	2	-1	1	0
В болотах	46	-30	-16	16	36	-13	23	10
В озерах	0	1	0	1	1	0	1	1
В русловой сети	9	11	-19	20	8	6	14	1
Сумма	69	-25	-55	44	50	-21	29	-13
Невязка баланса								
$P = A - B - B$	1	11	-14	12	-7	12	5	-3

программы экспедиции на р. Шелони следует отнести отсутствие полевых работ по таксации лесов и картированию почво-грунтов на небольших лесных водосборах, а также отсутствие наблюдений за режимом грунтовых вод в лесах с различными грунтами и рельефом. Последние наблюдения проводились только в поле по колодцам бытового водопользования. Перечисленные недостатки программы экспедиционных исследований стали ясны лишь после анализа выполненных работ в связи с невозможностью расшифровки указанных связей.

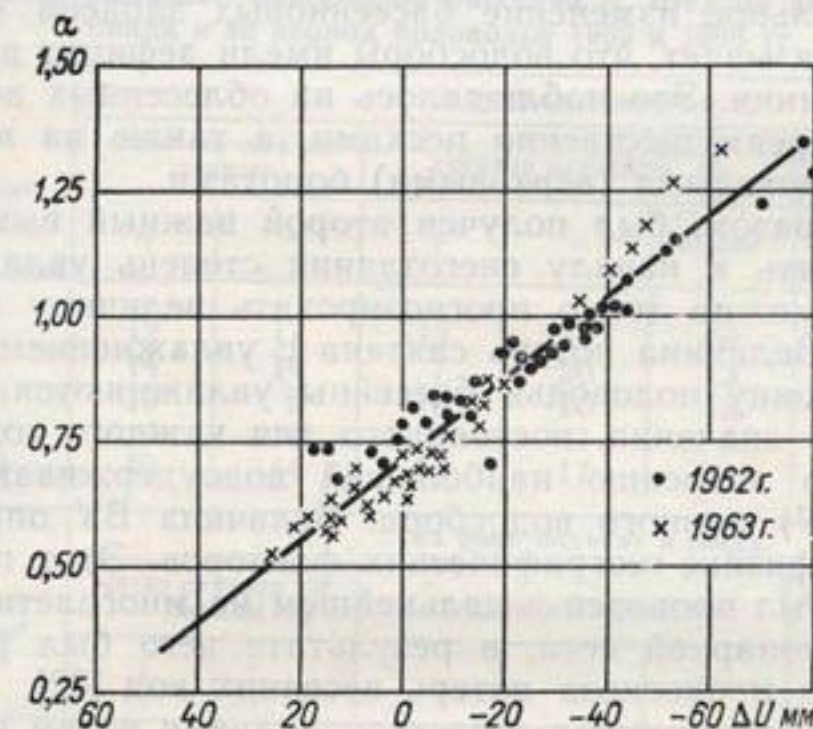


Рис. 29. График связи коэффициента весеннего стока с изменением суммарных аккумулярованных запасов воды в бассейнах различных рек, входящих в состав водосбора р. Шелони.

После расчета водных балансов по всем 50 водосборам бассейна р. Шелони за 1962 и 1963 гг. (в табл. 13 дается пример расчета) удалось получить четкую связь между коэффициентом стока весеннего половодья¹ и изменением за половодье бассейновых запасов в почво-грунтах, грунтовых вод, в болотах и наледях на конец и начало весеннего половодья ($\Delta U = U_K - U_H$). Эта связь (рис. 29) показывает, что коэффициент стока весеннего половодья обуславливается степенью влагонасыщенности водосбора к началу снеготаяния, т. е. степенью заполненности аккумуляющих емкостей бассейнов. Отрицательное изменение бассейновых запасов ($-\Delta U$) за половодье означает, что водосборы были пересыщены влагой к началу снеготаяния. Это

¹ За коэффициент стока принято отношение величины стока за половодье к суммарной величине снегозапасов на дату начала снеготаяния и осадков за все половодье.

происходит обычно за счет обильного осеннего увлажнения и затем быстрого замерзания влаги в начале зимы за счет дополнительного увлажнения почв во время зимних оттепелей, за счет образования наледей на поверхности водосборов после оттепелей, а также за счет замерзания грунтовых вод, выклинивающихся зимой в тальвеги логов и в результате перемерзания русел ручьев. Коэффициенты стока, равные 0,90—1,30, наблюдались на полевых водосборах с суглинистыми грунтами, а также на смешанных водосборах (поле—лес), имеющих низинные болота.

Положительное изменение бассейновых запасов ($+\Delta U$) за половодье указывает, что водосборы имели дефицит влаги к началу снеготаяния. Это наблюдалось на облесенных водосборах, сложенных преимущественно песками, а также на водосборах с крупными моховыми (верховыми) болотами.

Таким образом, был получен второй важный вывод о том, что, если знать к началу снеготаяния степень увлажненности водосборов, можно точно прогнозировать величину потерь весенних вод. Величина потерь связана с увлажнением бассейна, так как к концу половодья бассейны увлажняются до своего оптимального значения, постоянного для каждого года и соответствующего значению наибольшей водоудерживающей способности (ВУ) данного водосбора. Величина ВУ определяется комплексом физико-географических факторов. Этот гипотетический вывод был проверен в дальнейшем на многолетних наблюдениях стационарной сети, в результате чего был разработан метод оценки и прогноза потерь весенних вод [32]. Проверка этого метода выполняется в настоящее время путем проведения экспедиционных воднобалансовых исследований в северо-восточном районе ЕТС — в бассейне р. Вятки.

Анализ водных балансов различных водосборов позволил сделать вывод о том, что в условиях Северо-Запада ЕТС основные потери весенних вод формируются в результате испарения влаги и пополнения запасов грунтовых вод (см. табл. 13). Роль почво-грунтов зоны аэрации как аккумулятора влаги незначительна: в одни весны почвы могут несколько увлажняться, особенно в лесу, а в другие — отдавать на сток и испарение накопленную за осенне-зимний период влагу. Этот вывод являлся новым, так как ранее считалось, что основное количество воды, составляющее потери весенних вод, расходуется на увлажнение почво-грунтов.

Следующий важный вывод относится к возможности и целесообразности проведения детальных воднобалансовых исследований не только на малых площадях, но и на относительно крупных речных водосборах (тысячи км²) при сравнительно небольшом объеме работ, что достигается измерением аккумуляционных компонентов водного баланса на типичных для данного района исследований участках местности. Этот вывод справедлив для расчета водных балансов водосборов за период поло-

водья в целом и за более короткие интервалы времени: фазы подъема и спада половодья (табл. 13 и 14). В табл. 14 представлены величины невязок 83 водных балансов водосборов за период половодья и 193 балансов за фазы подъема и спада половодья. Из этих данных следует, что невязки балансов за указанные выше интервалы времени характеризуются одними и теми же величинами.

Таблица 14

Невязки водных балансов водосборов бассейна р. Шелони за фазы подъема, спада и за период половодья 1962 и 1963 гг.

Площадь водосбора, км ²	За период половодья						
	число случаев со знаком		средние величины, мм			наибольшие величины, мм	
	+	—	+	—	общая	+	—
1—100	12	17	13	18	16	28	54
101—250	14	14	7	20	13	18	39
251—1000	19	9	10	16	12	23	41
>1000	4	4	6	7	7	11	11
1—6820	49	44	10	17	13	28	54

Площадь водосбора, км ²	За фазы подъема и спада						
	число случаев со знаком		средние величины, мм			наибольшие величины, мм	
	+	—	+	—	общая	+	—
1—100	34	29	15	15	15	69	55
101—250	26	30	13	17	14	31	58
251—1000	32	23	14	16	14	34	64
>1000	12	7	11	15	12	22	25
1—6820	104	89	14	16	14	69	64

На рис. 30 представлены хронологические графики хода всех элементов водного баланса (кроме испарения) для водосбора р. Шелони.

Аналогичные графики, построенные для различных по физико-географическим характеристикам небольших водосборов, позволили оценить роль каждого аккумуляционного компонента водного баланса в формировании гидрографа стока и потерь весенних вод в различные фазы половодья. Например, болота и заболоченные участки, располагаясь на путях стока воды в реки, перехватывали практически весь склоновый сток до тех пор, пока не начался сброс воды из болот. Сработка этих аккумуляционных запасов увеличивала поступление воды в гидрографическую сеть в период формирования пика половодья. Наоборот, русловые емкости рек способствовали отъемам воды в фазу подъема половодья и поэтому способствовали уменьше-

нию максимальных расходов воды. К концу половодья суммарная аккумуляция воды в бассейнах была незначительной (см. табл. 13, рис. 30).

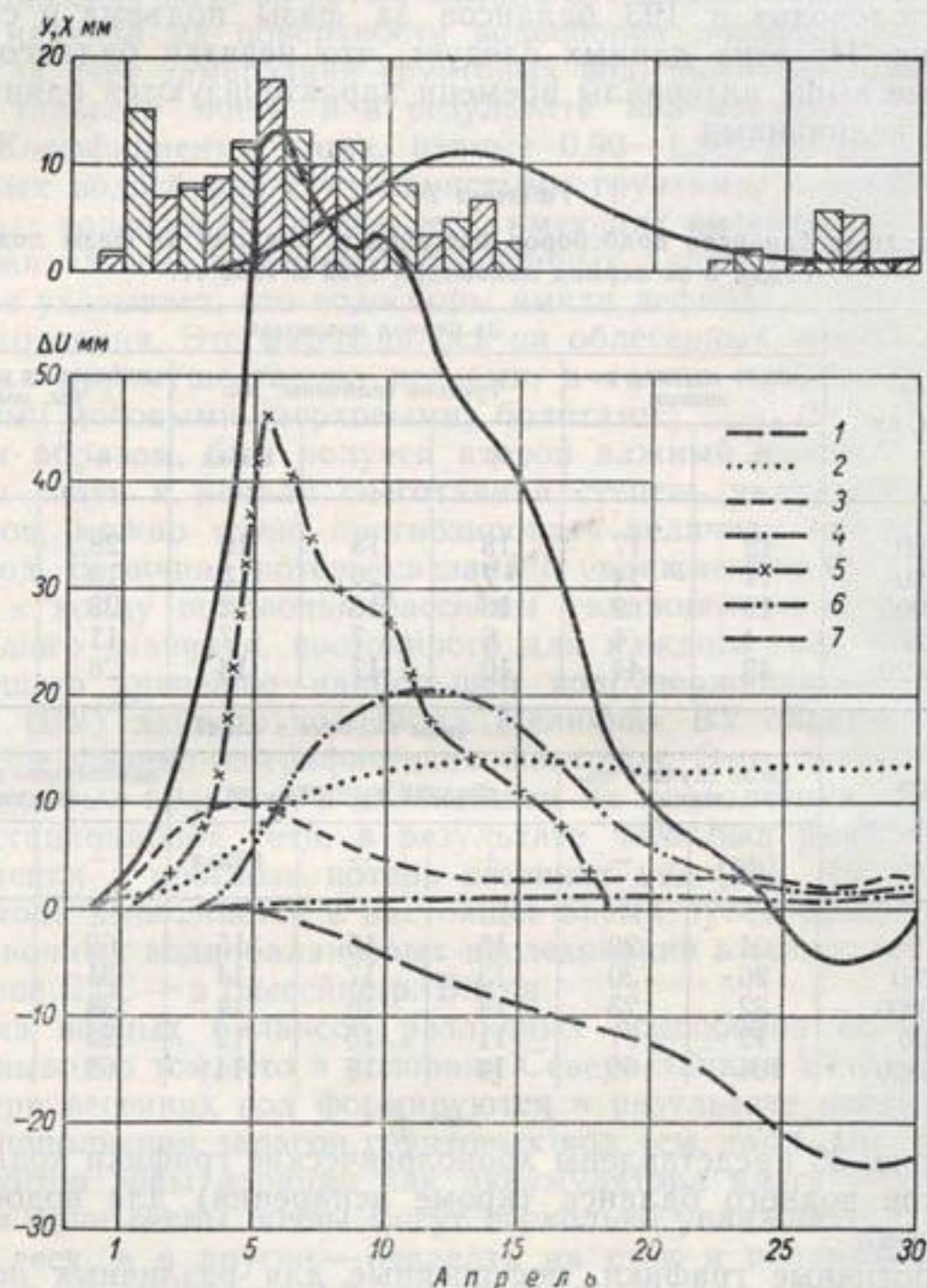


Рис. 30. Графики хода стока Y р. Шелони в половодье 1963 г., водоотдачи из снега и жидких осадков X и изменения запасов воды в бассейне ΔU (7), в 0—50 см слое почвогрунтов (1), в водоносных пластах грунтовых вод (2), в лужах (3), озерах (4), болотах и заболоченных понижениях (5), в русловой сети (6).

Материалы и опыт проведенных исследований русловой емкости в бассейне р. Шелони были положены в дальнейшем в основу разработки методики наблюдений и расчета объема русловой емкости и учета ее при воднобалансовых расчетах

и краткосрочных прогнозах паводочного стока различных рек Советского Союза (50, 63).

Наконец, экспедиционные работы в бассейне р. Шелони положили начало накоплению данных по изменчивости на площади полевых и лесных угодий лесной зоны ЕТС величин влагозапасов в почво-грунтах и глубин их промерзания, т. е. основных факторов склонового стока. Наиболее полная сводка результатов исследований влажности и промерзания почво-грунтов дана в работе [22].

4.2. Оценка потерь весенних вод в бассейне р. Вятки

По программе экспедиционных исследований в бассейне р. Вятки, составленной на период с 1974 по 1977 г., уже в 1972 г. небольшой партией были начаты экспедиционные работы. Одновременно с развертыванием полевых работ проводился сбор и обобщение многолетних гидрометеорологических материалов наблюдений. Это позволило определить общие закономерности в формировании водного режима и баланса вод как для частных водосборов, так и для всего бассейна р. Вятки. В результате начатых исследований сделаны предварительные выводы в методическом и научном плане, что позволило откорректировать программу полевых исследований. Ниже излагаются некоторые из этих выводов.

1. Установлено, что сезонные колебания влажности почв происходят до глубины 1—1,2 м. Так, после выдающейся летней засухи 1972 г. влажность супесчаных и суглинистых грунтов на глубине от 1 до 3 м имела практически одни и те же значения, равные наименьшей влагоемкости. Это позволило сократить объем полевых работ на 1974—1977 гг. по определению влажности и объемных весов почво-грунтов с 3 м до глубины 1,5 м в северной и до 2,0 м в центральной и южной частях бассейна р. Вятки. Кроме того, сделан вывод о том, что данные агрометстанций по влагозапасам почво-грунтов в слое 0—100 см полностью характеризуют амплитуду колебаний их увлажненности на полевых участках за весь имеющийся ряд наблюдений.

2. Объемный вес почв и грунтов имеет весьма незначительное различия по территории при одинаковом литологическом их составе. Это также позволило сократить число пунктов определений.

3. Запасы воды в снежном покрове, измеряемые станциями и постами Гидрометслужбы на маршрутах длиной 2 км в поле и 0,5 км — в лесу, полностью соответствуют снегозапасам, получаемым экспедицией на 3-километровых маршрутах в лесу и поле. Поэтому отпадает необходимость в проведении снегосъемок на маршрутах большой протяженности.

4. Изменчивость по территории влагозапасов в почво-грунтах и глубин их промерзания характеризуется такими же величинами параметров, как и для изученной территории Северо-Запада ЕТС. Следовательно, для надежного определения средних величин и пространственного распределения влагозапасов и глубин промерзания почво-грунтов можно ограничиться маршрутами протяженностью до 3 км. Такие маршруты при протяженности склонов 500—800 м несколько раз пересекут склоны различных экспозиций и дадут сведения об изменении влажности верхних — сухих и нижних — наиболее увлажненных участков местности.

5. Определено значение наибольшей водоудерживающей способности (ВУ) почво-грунтов, т. е. величины запасов влаги, которая имеет место через 1—2 недели после обильного увлажнения почв. Для полевых участков в метровом слое суглинистых почво-грунтов значение таких запасов 325 мм, а для лесных — 360 мм. Эти предварительные данные положены в основу составления опытных прогнозов потерь весенних вод на пополнение запасов влаги в почво-грунтах — по разности влагозапасов, соответствующих значению ВУ, и запасов, измеренных к началу снеготаяния, т. е. по схеме, изложенной в работе [32].

6. Выдвинута гипотеза о роли промерзания почв в уменьшении потерь весенних вод вследствие сохранения промерзшими почвами избыточной осенней влаги, особенно для сложных литологических структур. Предварительно установлено, что при слоистом сложении почво-грунтов их влажность после обильного осеннего увлажнения (влажность, соответствующая значению ВУ) значительно больше влажности, соответствующей наименьшей влагоемкости. Последняя у таких почв наблюдается через 2—3 месяца после обильного их увлажнения, если при этом испарение отсутствует. Разность величин ВУ и НВ для верхнего полуметрового слоя составляет 30—40 мм.

В тех случаях, когда почва быстро промерзает после обильного осеннего увлажнения, в ней сохраняется избыточная (сверх НВ) влага. Если почва начнет промерзать только в середине зимы или будет оставаться талой, избыточная влага перейдет из верхних горизонтов в нижние и тем самым появится дефицит влаги, равный ВУ—НВ. Этот дефицит влаги будет восполнен в период снеготаяния, к концу которого почва будет содержать запас влаги, равный ВУ, а потери талых вод на увлажнение почв составят ВУ—НВ.

Это принципиально новый взгляд о влиянии глубины промерзания почв на формирование потерь талых вод.

7. Выполненный расчет водных балансов за периоды весенних половодий для бассейна р. Вятки и частных его водосборов показал, что в северо-восточных районах ЕТС, так же как и в северо-западных, испарение за период снеготаяния и пополнение запасов грунтовых вод за половодье составляют основную

часть потерь весенних вод. Почво-грунты бассейна в отдельные годы могут значительно пополнять свои запасы (до 50 мм в поле и до 90 мм в лесу), однако в другие годы почвы при оттаивании отдают воду (до 30 мм в поле и до 10 мм в лесу). Таким образом, по сравнению с Северо-Западом ЕТС в условиях Северо-Востока наблюдается значительно большая роль почво-грунтов в формировании потерь весенних вод в отдельные годы.

8. По данным аэровизуальных обследований и картирования снежного покрова предварительно установлено, что дата конца снеготаяния на облесенных и смешанных (поле—лес) водосборах соответствует дате прохождения пика половодья на реках с площадями 5—15 тыс. км². Определение дат схода снега с водосборов необходимо для расчета стокообразующих осадков и вычисления потерь воды на испарение при разработках прогноза объема стока весеннего половодья.

9. Получена связь (рис. 31) величин испарения E за период снеготаяния с величинами запасов воды в снеге перед началом половодья. Погрешность прогноза испарения по связи равна ± 6 мм, или 20%. Расчет испарения выполнялся по формулам

$$E = 0,44 \sum d \text{ или } E = 0,7E_0, \quad (30)$$

где d — среднее суточное значение дефицита влажности воздуха, мм; E_0 — испаряемость, вычисляемая по температуре и абсолютной влажности воздуха с помощью номограмм, помещенных в указаниях [50]. Эти формулы были получены для условий Северо-Запада ЕТС и Центрально-Черноземных областей, поэтому они в настоящее время проверяются по данным экспедиционных наблюдений за испарением в бассейне р. Вятки.

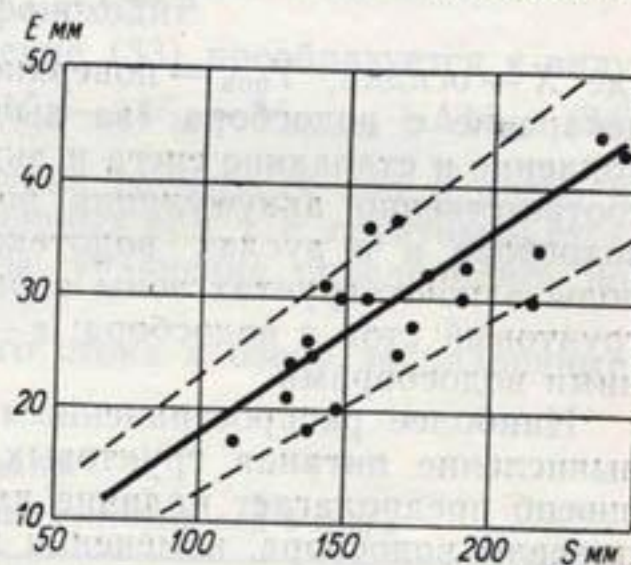


Рис. 31. Связь величины суммарного испарения E за период таяния снега в поле и в лесу с запасом воды в снежном покрове S к началу снеготаяния в бассейне р. Вятки (1951—1973 гг.).

4.3. Оценка величины питания грунтовых вод атмосферными осадками в районах Северного Казахстана

Если величину каждого элемента уравнения водного баланса можно вычислить в отдельности на основании фактических измерений, то величину питания грунтовых вод P атмосферными

осадками в пределах водосборов и сельскохозяйственных полей измерить почти невозможно. В настоящее время эта величина рассчитывается по уравнению водного баланса почво-грунтов зоны аэрации

$$P = X - Y_{\text{пов}} - E - \Delta X_a - \Delta V_{\text{пон}} - \Delta V_p - \Delta W, \quad (31)$$

либо по уравнению баланса грунтовых вод в пределах изучаемого участка (водосбора)

$$P = Y_{\text{гр}} + \Delta U_{\text{гр}} + \varepsilon, \quad (32)$$

где X — осадки; $Y_{\text{пов}}$ — поверхностный сток с водосбора; E — испарение с водосбора (за вычетом конденсации); ΔX_a — накопление и стайвание снега и льда на водосборе; $\Delta V_{\text{пон}}$ и ΔV_p — соответственно аккумуляция воды в понижениях рельефа на водосборе и в руслах водотоков; ΔW и $\Delta U_{\text{гр}}$ — аккумуляция воды в почво-грунтах зоны аэрации и грунтовых водах; $Y_{\text{гр}}$ — грунтовый сток с водосбора; ε — подземный водообмен с соседними водосборами.

Наиболее распространенным в практике расчетов является вычисление питания грунтовых вод по уравнению (32). Этот способ предполагает наличие данных о стоке грунтовых вод за пределы водосбора, изменении запасов грунтовых вод на водосборе и подземном водообмене с соседними бассейнами.

Расчет питания грунтовых вод по уравнениям (31) и (32) можно рассмотреть на примере расчета водного баланса озер Малое Бурли и Боровое. Эти озера расположены в степи на равнинной местности и являются бессточными. Площадь зеркала оз. Малое Бурли в межень 6,4 км², а оз. Боровое — 2,8 км². Вода из озер для хозяйственных целей практически не используется. Площади водосборов этих озер соответственно равны 93,2 и 14,5 км².

Водосбор оз. Малое Бурли сложен в основном средними и тяжелыми суглинками, а водосбор оз. Боровое — преимущественно супесями, переслоенными суглинками и глинами.

Сток грунтовых вод $Y_{\text{гр}}$ рассчитывался по уравнению водного баланса озер.

Применительно к бессточным озерам уравнение водного баланса может быть записано в виде

$$V_{\text{ос}} + \Delta V_{\text{сн}} + V_{\text{пр. пов}} + V_{\text{пр. гр}} + V_{\text{т. л}} = V_{\text{исп}} + V_{\text{от. гр}} + V_{\text{ф}} + V_{\text{л}} + V_{\text{вз}} + \Delta V_{\text{оз}}, \quad (33)$$

где слагаемые уравнения выражены в объемах воды: $V_{\text{ос}}$ — жидкие осадки, выпавшие на поверхности озера; $\Delta V_{\text{сн}}$ — приращение запаса воды в снеге на поверхности льда озера за расчетный период; $V_{\text{пр. пов}}$ — приток воды с поверхности водосбора; $V_{\text{пр. гр}}$ — приток грунтовых вод; $V_{\text{т. л}}$ — приток от таяния льда на берегах озера; $V_{\text{исп}}$ — испарение с поверхности озера (с учетом

конденсации); $V_{\text{от. гр}}$ — питание грунтовых вод за счет озерных вод; $V_{\text{ф}}$ — фильтрация через дно озера; $V_{\text{л}}$ — потери воды за счет оседания льда на берегах; $V_{\text{вз}}$ — водозабор из озера; $\Delta V_{\text{оз}}$ — изменение объема воды в озере за рассматриваемый период.

Величиной $V_{\text{ф}}$ для рассматриваемых озер можно пренебречь, так как дно сложено мощным слоем глины и практически водонепроницаемо. Величинами $V_{\text{л}}$ и $V_{\text{т. л}}$ также можно пренебречь, так как $V_{\text{вз}} = 0$ и уровни воды в зимнее время не понижаются и оседания льда на берегах не происходит.

В связи с изложенным уравнение (33) преобразуется к виду

$$\Delta V_{\text{гр}} = V_{\text{пр. гр}} - V_{\text{от. гр}} = V_{\text{исп}} - V_{\text{ос}} - \Delta V_{\text{сн}} - V_{\text{пр. пов}} + \Delta V_{\text{оз}}, \quad (34)$$

где $V_{\text{пр. гр}} - V_{\text{от. гр}}$ — разность притока грунтовых вод в озеро и питания грунтовых вод за счет озерных вод, т. е. грунтовый сток в озеро. Все остальные элементы уравнения определялись по данным наблюдений.

Результаты расчета грунтового стока в озеро за различные периоды приведены в табл. 15.

Таблица 15

Результаты расчета притока грунтовых вод в озеро

Период	Водосбор оз. Малое Бурли		Водосбор оз. Боровое	
	млн. м ³	мм	млн. м ³	мм
1/XI 1961—4/III 1962	(0,21)	(2,4)	(0,18)	(12,7)
4/III—1/V	0,12	1,4	0,03	2,1
V	0,12	1,4	0,15	10,4
VI	0,05	0,6	0,17	11,7
VII	0,12	1,4	0,15	10,3
VIII	0,17	2,0	0,10	6,8
IX	0,15	1,7	0,11	7,5
X	0,02	0,2	0,04	2,7
За 1961-62 гидрологический год	0,96	11,1	0,93	64,2
1/XI 1962—29/III 1963	(0,23)	(2,6)	(0,27)	(18,4)
29/III—1/V	0,29	3,3	0,14	9,6
V	0,04	0,5	0,21	14,5
VI	0,04	0,5	0,10	6,9
VII	0,22	2,5	0,19	13,0
VIII	0,08	0,9	0,11	7,5
IX	0,10	1,1	0,07	4,8
X	(0,03)	(0,4)	(0,06)	(3,9)
За 1962-63 гидрологический год	1,03	11,8	1,15	78,6

Определение изменения запасов грунтовых вод на водосборах ($\Delta U_{\text{гр}}$) производилось по формуле

$$\Delta U_{\text{гр}} = 10\mu \Delta h_{\text{ср}}, \quad (35)$$

где μ — средний по водосбору коэффициент водоотдачи водовме-

щающих пород; $\Delta h_{\text{ср}}$ — среднее изменение уровня грунтовых вод на водосборе за расчетный период, см. Для водосбора оз. Малое Бурли величина μ установлена равной 0,02, а для водосбора оз. Боровое — 0,12.

Для определения величин $\Delta h_{\text{ср}}$ были найдены изменения уровня грунтовых вод за расчетный период в каждой скважине и построены карты изолиний этих изменений. Величина $\Delta h_{\text{ср}}$ рассчитывалась по формуле

$$\Delta h_{\text{ср}} = \frac{\sum \Delta h_i f_i}{F}, \quad (36)$$

где Δh_i — среднее значение изменения уровня грунтовых вод на площади между двумя смежными изолиниями f_i ; F — площадь водосбора в пределах поверхностного водораздела.

Расчет подземного водообмена водосбора оз. Боровое с соседними водосборами (е) выполнен по данным наблюдений за уровнями грунтовых вод в скважинах, расположенных по обе стороны поверхностного водораздела. Предварительно по карте гидроизогипс были выявлены места возможного подземного водообмена. Для водосбора оз. Малое Бурли поверхностный и подземный водоразделы почти совпадают в пределах всего его периметра.

Расчет подземного водообмена водосбора оз. Боровое с соседними производился по формуле

$$q_i = \frac{K}{2l_i} (h_1^2 - h_2^2), \quad (37)$$

где q_i — приток грунтовых вод от скважины, расположенной за пределами водосбора, к скважине, находящейся на водосборе у водораздельной линии, на участке шириной 1 м; l_i — расстояние между скважинами; h_1 и h_2 — мощности водоносного пласта у первой и второй скважин; K — коэффициент фильтрации водовмещающих пород (6,25 м/сутки для данных водоносных пластов).

Подземный приток по контуру всех участков водораздела, где имел место подземный приток, подсчитывался по формуле

$$\varepsilon = \frac{T \sum q_i L_i}{1000F}, \quad (38)$$

где ε выражен в мм, q_i — в м³/сутки на 1 пог. м; L_i — суммарная длина участков водораздельной линии, на которых наблюдается подземный приток, м; T — расчетный период, сутки; F — площадь водосбора озера, км².

Вертикальный водообмен (через водоупор) с нижележащими водоносными пластами принят равным нулю, так как водоупор представлен слоем глины мощностью 10 м.

По данным расчета величин $Y_{\text{гр}}$, $\Delta U_{\text{гр}}$ и ε по уравнению (32) было определено питание грунтовых вод атмосферными

осадками (табл. 16). Эти данные показывают, что питание грунтовых вод за счет атмосферных осадков начинается в весенний период и продолжается до июня—августа. В последующие месяцы оно незначительно и им можно пренебречь. Наибольшее питание грунтовых вод имеет место в апреле—мае. В среднем за четыре года (1959—1963) величина питания грунтовых вод составила за год 12 мм для оз. Малое Бурли и 43 мм для оз. Боровое, или соответственно 1,11 и 0,62 млн. м³, что является предельно возможными величинами для использования подземных вод в целях водоснабжения.

Таблица 16

Питание грунтовых вод атмосферными осадками на водосборе оз. Боровое

Период	Грунтовой сток в озеро $Y_{\text{гр}}$ мм	Изменение запаса грунтовых вод $\Delta U_{\text{гр}}$ мм	Подземный водообмен ε мм	Питание грунтовых вод P мм
1/XI 1961—4/III 1962	(12,7)	—1,3	—11,7	(0)
4/III—1/V	2,1	5,8	—5,4	2,5
V	10,4	—0,7	—2,9	6,8
VI	11,7	—2,9	—2,8	6,0
VII	10,3	—4,1	—2,9	3,3
VIII	6,8	—2,4	—2,9	1,5
IX	7,5	—4,6	—2,8	0,1
X	2,7	—0,8	—2,9	—1,0
За 1961-62 гидрологический год	64,2	—11,0	—34,0	19,2
1/XI 1962—29/III 1963	(18,4)	—4,7	—13,7	(0)
29/III—1/V	9,6	10,1	—3,0	16,7
V	14,5	4,4	—2,9	16,0
VI	6,9	—1,1	—2,8	3,0
VII	13,0	—0,1	—2,9	10,0
VIII	7,5	—4,1	—2,9	0,5
IX	4,8	—2,1	—2,8	—0,1
X	(3,9)	(—1,3)	(—2,9)	—0,3
За 1962-63 гидрологический год	78,6	1,1	—33,9	45,8

Кроме изложенного воднобалансового метода расчета питания грунтовых вод атмосферными осадками существует более простой метод [8], позволяющий эффективно использовать в данном направлении многолетний материал наблюдений за режимом грунтовых вод. Метод основан на использовании данных о колебании уровня грунтовых вод и величине водоотдачи водовмещающих пород. Принципиальные основы метода заключаются в следующем. Если рассмотреть отдельный бассейн грунтовых вод, то величина повышения или понижения их уровня свидетельствует о накоплении или расходовании общего их запаса. Повышение уровня является результатом превышения величины пополнения грунтовых вод над величиной их расходования. Снижение уровня грунтовых вод связано с их расходованием, причем питание грунтовых вод в период понижения уровня

или совершенно отсутствует, или невелико, что не компенсирует величины их расходования. При равенстве величин пополнения и расходования грунтовых вод их уровень должен оставаться неизменным.

Метод предусматривает производство всех расчетов непосредственно по изменению запаса грунтовых вод в отдельных скважинах изучаемой территории.

Исходным материалом для расчета являются графики колебания уровня грунтовых вод. Расчеты выполняются отдельно для периодов подъема, спада и для кратковременных периодов с отсутствием колебания уровней по формулам:

а) для периода подъема уровня грунтовых вод

$$P = 10\mu (\Delta H + \Delta H_3), \quad (39)$$

где P — количество воды, просочившейся до уровня грунтовых вод, мм; ΔH — величина подъема уровня грунтовых вод за расчетный период, см; μ — коэффициент водоотдачи водосодержащих пород; ΔH_3 — величина изменения уровня грунтовых вод в результате их оттока (см), вычисляемая по графику связи $V_3 = f(H)$, о необходимости построения которого будет отмечено ниже;

б) для периода понижения уровня грунтовых вод

$$P = 10\mu \Delta H \left(1 - \frac{1}{k}\right), \quad (40)$$

где ΔH — изменение уровня за расчетный период, см; $k = \frac{V_{\text{л}}}{V_3}$ —

коэффициент соотношения скоростей снижения уровня грунтовых вод в летний $V_{\text{л}}$ и зимний V_3 периоды. Для расчетного периода величина ΔH_3 имеет положительный знак, а величина ΔH имеет как положительный знак при повышении уровня грунтовых вод, так и отрицательный — при понижении уровня грунтовых вод;

в) для кратковременных периодов с отсутствием колебания уровня

$$P = 10\mu \Delta H_3. \quad (41)$$

При вычислении коэффициента k для отдельных периодов понижения уровня грунтовых вод летом и осенью значение $V_{\text{л}}$ определяется непосредственно по графику колебания уровня грунтовых вод, как частное от деления величины снижения уровня ΔH на продолжительность периода T в сутках. Величина V_3 определяется по связи $V_3 = f(H)$ при значении уровня H , равном глубине залегания грунтовых вод в середине расчетного периода.

График связи $V_3 = f(H)$ строится при наличии не менее 2—3 лет наблюдений за уровнем грунтовых вод в зимний период.

В качестве примера на рис. 32 приведена зависимость $V_3 = f(H)$ для скважин на водосборах озер Боровое и Шошка-Куль.

На графике имеется несколько (2—5) кривых, каждая из которых соответствует одной скважине или определенной группе скважин, характеризующихся примерно одинаковой глубиной залегания грунтовых вод с близкой литологической структурой водовмещающих пород. Связь $V_3 = f(H)$ отражает уменьшение интенсивности оттока грунтовых вод на дренирование в водоисточники с понижением уровня грунтовых вод в зимний период, т. е. характеризует суточное снижение уровней грунтовых вод в результате их разгрузки на сток. Зная уровень грунтовых вод H на середину расчетного периода, можно по графику связи $V_3 = f(H)$ с учетом его экстраполяции определить значение V_3 и, умножив эту величину на продолжительность расчетного периода T , вычислить значение ΔH_3 .

Пример расчета питания грунтовых вод на водосборе оз. Малое Бурли показан в табл. 17. Алгебраическая сумма элементов баланса, приведенных в графах 11—13, определяет величину питания грунтовых вод в пределах угодья и в районе расположения наблюдательной скважины. Рассчитанные величины питания грунтовых вод по всем скважинам на упомянутых водосборах приведены в табл. 18.

О достоверности вычисления питания грунтовых вод данным методом можно судить по результатам

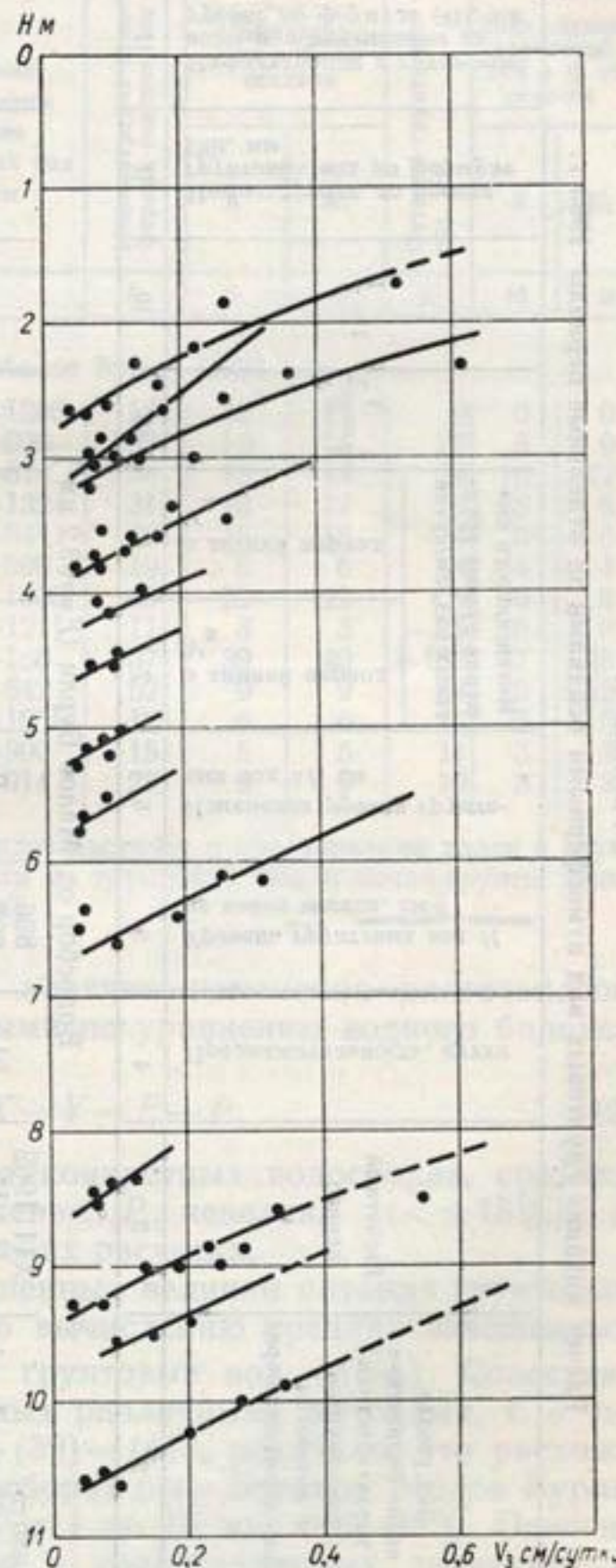


Рис. 32. Связи $V_3 = f(H)$ для различных скважин на водосборах озер Шошка-Куль и Боровое.

Таблица 17

Расчет питания грунтовых вод атмосферными осадками за отдельные периоды 1963 г.

Номер скважины	Вид уголья, водно-физические характеристики почво-грунтов и литология водосодержащих пород	Расчетный период	Продолжительность, сутки	Уровень грунтовых вод H на конец месяца, см	Изменение уровня грунтовых вод ΔH см	Интенсивность снижения уровня грунтовых вод, см/сутки	в зимний период V_z	в летний период V_l	$\frac{1}{k} = \frac{V_z}{V_l}$	$1 - \frac{1}{k}$	Инфильтрация до уровня грунтовых вод по формуле (39), мм	Инфильтрация в грунтовые воды при неизменном их уровне по формуле (41), мм	Инфильтрация в грунтовые воды при оттоке в зону аэрации по формуле (40), мм
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Водосбор оз. Малое Бурли ($F=93,2 \text{ км}^2$)

25	Пахота $\rho=1,55 \text{ г/см}^3$ $PB=22\%$ $NB=10\%$ $\mu=0,19$ Песок среднезернистый	XII 1962 I—II II—III III—IV IV—V V—VI VI—VII VII—VIII VIII—IX IX—X X—XI XI—XII XII—I	31 28 31 30 31 30 31 30 31 30 31 31	896 898 900 902 900 902 902 905 906 906 908 910 912	—2 —2 —2 —2 —2 0 3 —1 0 —2 —2 —2	0,10 0,08 0,07 0,07 0,06 0,06 0,05	0,07 0,0 0,10 0,03 0,0 0,07	1,14 0,0 0,70 2,0 0,0 0,72	—0,14 1,0 0,30 —1,0 1,0 0,28	5,7 4,0 3,4	0,4 —1,7 1,9 —1,0
----	---	--	--	---	---	--	--	---	---	-------------------	----------------------------

Примечание. ПВ — полная влагоемкость, NB — наименьшая влагоемкость, ρ — объемный вес почво-грунтов, μ — коэффициент водоотдачи.

Таблица 18

Рассчитанные величины питания грунтовых вод в районе отдельных скважин на воднобалансовых водосборах (1963 г.)

Номер скважины	Характер поверхности	Осадки X мм	Осадки за вычетом поверхностного стока X_1 мм	Глубина залегания уровня грунтовых вод H см	Инфильтрация атмосферных осадков, мм	Инфильтрация в % от осадков		Питание грунтовых вод, мм	Доля питания грунтовых вод в % от осадков	
						X	X_1		X	X_1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Водосбор оз. Малое Бурли (1963 г.)

1	Степь	332	294	1219—1205	16	10	11	0	0	0
5	Степь	332	294	958—930	32	10	11	27	8	9
7	Степь	315	277	615—614	38	13	15	34	10	12
8	Пахота	298	215	1352—1324	31	16	17	19	6	6
10	Степь	305	295	904—844	48	16	16	—4	0	0
11	Пахота	344	341	918—906	19	6	6	14	4	4
20	Пахота	280	285	1034—1005	35	22	22	4	0	0
21	Пахота	344	341	1226—1211	11	3	3	—15	0	0
22	Степь	354	344	200—166	137	39	40	—133	37	38
23	Степь	333	323	672—642	52	9	9	34	10	12
24	Пахота	324	321	1061—1055	19	6	6	17	5	5
25	Пахота	324	321	902—900	15	5	5	11	3	3
27	Пахота	314	311	916—914	28	9	9	10	3	3

Примечание. Знак (+) свидетельствует о просачивании влаги в грунтовые воды; знак (—) — отток влаги из грунтовых вод в почво-грунты зоны аэрации (испарение с грунтовых вод).

сопоставления измеренных величин изменения влагозапасов в зоне аэрации с вычисленными по уравнению водного баланса зоны аэрации вида

$$\Delta W = X - Y - E - P. \quad (42)$$

Как показали расчеты на конкретных водосборах, средняя погрешность метода вычисления P невелика ($< \pm 18\%$) и вполне допустима в практических расчетах.

Вычисление средних взвешенных величин питания грунтовых вод производится аналогично вычислению средних взвешенных значений изменений запасов грунтовых вод ($\Delta \bar{U}_{гр}$). Сопоставление значений P , вычисленных различными методами, т. е. по формулам (31) и (32) и по (39)—(41), показало, что расхождения в величинах P на водосборах озер Боровое, Малое Бурли и лога Кинденсай составили от 1 до 15 мм, $\pm 6—32\%$. Относительно большое расхождение в сопоставляемых значениях P может быть вызвано и неточностями вычисления коэффициента фильтрации водовмещающих пород и величины водообмена грунтовых вод по контуру поверхностного водораздела (ϵ). Вы-

числение водообмена грунтовых вод по контуру поверхностного водораздела с необходимой точностью требует большого количества скважин как в пределах, так и за пределами данного водосбора.

Наиболее точные результаты по определению P по формулам (39) — (41) могут быть получены для грунтовых вод с водораздельным типом режима их уровня (см. рис. 1), т. е. залегающих на такой глубине, которая определяет сезонное колебание уровня только за счет питания атмосферными осадками.

Исключение представляют грунтовые воды, для которых колебания уровня проявляются только в разрезе многолетних периодов; на протяжении отдельных лет уровень их остается постоянным или постепенно изменяется в одном направлении — снижения или повышения.

Метод совершенно неприменим для вычисления питания грунтовых вод атмосферными осадками в скважинах с явлениями временного подпора уровня, возникающего вблизи рек, озер или очагов усиленного местного питания грунтовых вод.

Кроме рассмотренных здесь методов расчета баланса грунтовых вод и питания их атмосферными осадками [8] можно рекомендовать методы, изложенные в монографиях И. Б. Вольфуна [11], А. В. Лебедева [35], Б. И. Куделина [34], П. А. Киселева [23] и др., например [67].

4.4. Оценка влияния агролесомелиоративных мероприятий на сток

В настоящее время существует много различных способов оценки влияния этого вида хозяйственной деятельности на сток. Большинство из них основано на статистическом анализе многолетних колебаний стока больших рек и сравнении величины стока за отдельные периоды, характеризующиеся различным уровнем сельскохозяйственного освоения земель. Однако все эти методы могут быть рекомендованы для практических расчетов как приближенные. Причина этого в том, что оценка влияния агролесомелиоративных мероприятий, основанная на сравнении величин стока с сильно распаханного и менее распаханного водосбора или на сравнении величин стока за периоды с различной степенью сельскохозяйственного освоения, исключает в первом случае различия в рельефе водосборов, почвах, гидрогеологии, и во втором — климатическую неоднородность сравниваемых периодов (различное распределение по годам и внутри лет влаги, тепла и холода), относительную неравномерность в темпе освоения новых земель, различия почво-грунтов на вновь освоенных землях, различный уровень агротехнических приемов земледелия и пр.

Для повышения точности в оценке влияния агролесомелиоративных мероприятий на сток находят широкое применение методы, разработанные на материалах исследований по водному балансу угодий (сельскохозяйственные поля, лес, лесные полосы) и позволяющие дифференцированно учесть роль агролесомелиоративных мероприятий в формировании как стока (склонового и грунтового), так и испарения с почвы.

Попытка разработать методику именно на этой основе осуществлена в ГГИ [9, 10] на имеющихся материалах гидрометеорологических и гидрогеологических наблюдений в районе действия воднобалансовых станций и ГМО Гидрометслужбы СССР и гидрогеологических режимных станций Министерства геологии СССР. Кроме того, был использован по возможности весь имеющийся экспериментальный материал, накопленный в воднобалансовых экспедициях ГГИ и других учреждениях.

Отличительной чертой методики оценки влияния агролесомелиоративных мероприятий методом водного баланса является возможность установления степени достоверности получаемых результатов.

Если уравнение водного баланса территории (водосбора) в многолетнем разрезе представляется уравнением

$$X = Y_{\text{п}} + Y_{\text{гр}} + E, \quad (43)$$

(X — атмосферные осадки, $Y_{\text{п}}$ — поверхностный (склоновый) сток, $Y_{\text{гр}}$ — грунтовый сток, E — испарение), то баланс изменений его составляющих под влиянием хозяйственной деятельности, и в частности — агролесомелиоративных мероприятий, можно написать в виде

$$\Delta Y_{\text{п}} + \Delta Y_{\text{гр}} = \Delta X - \Delta E, \quad (44)$$

или в частном варианте при неизменности во времени осадков на угодьях в виде

$$\Delta Y_{\text{п}} + \Delta Y_{\text{гр}} = \Delta E. \quad (45)$$

Из уравнения (45) следует, что результаты исследований изменения стока могут быть достоверными, если они подтверждаются данными по изменению испарения с угодий.

Оценка влияния агромероприятий и леса на склоновый сток дана на основе сопоставления данных по зимне-весеннему стоку с различных угодий, вычисленных по зависимости

$$\alpha = f(U_i, I), \quad (46)$$

где α — коэффициент склонового стока; U_i — индекс, учитывающий влажность и промерзаемость почвы перед началом стока; I — угол склона.

В качестве примера приведена указанная зависимость для степной зоны Северного Казахстана (рис. 33). Коэффициент корреляции этой зависимости 0,80—0,90. Относительная средняя

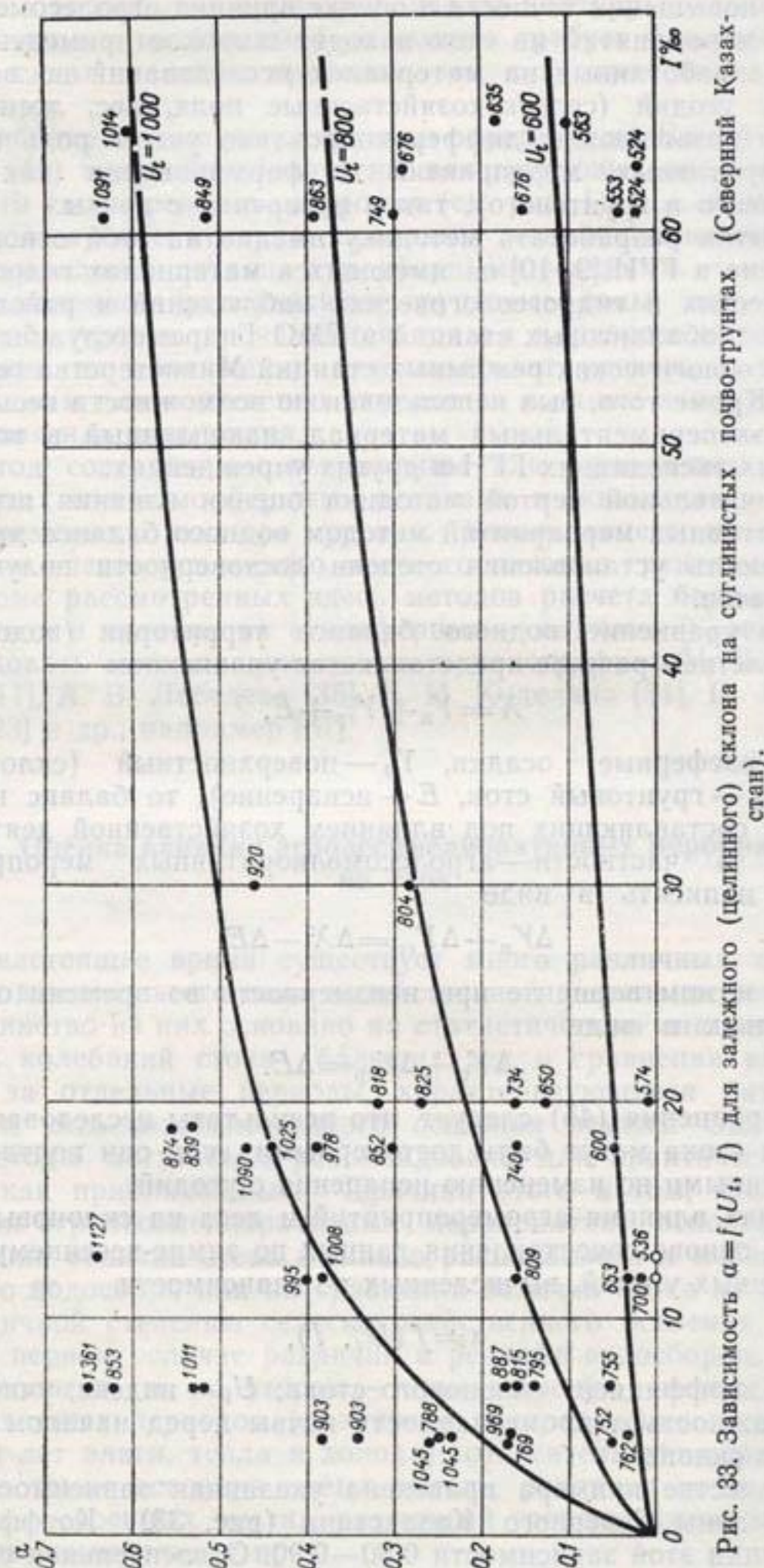


Рис. 33. Зависимость $\alpha = f(U_i, I)$ для залежного (целинного) склона на суглинистых почво-грунтах (Северный Казахстан).

квадратическая ошибка не превышает 30—50% величины возможного изменения склонового стока.

Оценка влияния зяблевой вспашки на склоновый сток произведена в различные по водности периоды по всем природным зонам с учетом влияния почво-грунтов и уклонов склонов. Наименьшая величина (5—20%) уменьшения стока наблюдается в лесной (увлажненной) зоне, наибольшая (20—60%) в лесостепной и степной зонах на суглинистых грунтах.

Уменьшение склонового стока под влиянием леса более значительно и составляет от 40 до 100% в лесной и от 70 до 100% в лесостепной зонах.

Оценка влияния лесных полос произведена на основе зависимости склонового стока от различной степени залесенности водосборов (балок, логов и временных водотоков) и заглубления стоковых площадок в лесные полосы.

Наиболее существенно влияние на уменьшение стока лесных полос, расположенных поперек склона (1,4% уменьшения на 1% увеличения залесенности). При перекрестном расположении лесных полос (и вдоль и поперек склонов) уменьшение стока сокращается до 1% на 1% залесенности.

Влияние распашки на летне-осенний склоновый сток несущественно [9] и им можно пренебречь.

Для оценки влияния агролесомелиоративных мероприятий на питание грунтовых вод за основу принята зависимость вида

$$\alpha' = f(H), \quad (47)$$

где α' — коэффициент питания грунтовых вод атмосферными осадками (отношение величины питания грунтовых вод к годовой сумме осадков); H — глубина до уровня грунтовых вод от поверхности земли, м.

Зависимость построена отдельно для залежных, распаханых под зябь и лесных склонов, для преобладающих супесчаных и суглинистых почво-грунтов зоны аэрации, в пределах всех природных зон ЕТС и Северного Казахстана. В качестве примера эта зависимость показана на рис. 34. Коэффициент корреляции зависимостей составляет 0,75—0,95 с относительной средней квадратической ошибкой 10—15%, не превышающей вычисленной величины изменения в питании грунтовых вод.

В пределах всех природных зон по всей амплитуде глубин отмечается увеличение питания грунтовых вод за счет просачивания атмосферных осадков под влиянием современных агролесомелиоративных мероприятий на сельскохозяйственных угодьях на 5—30% (в лесу — на 20—100% и в лесных полосах — на 30—200% и более) по сравнению с залежными (степными, целинными) участками.

Построению зависимости (47) предшествовал расчет питания грунтовых вод на угодьях по данным наблюдений за режи-

мом грунтовых вод в отдельных скважинах по методике, изложенной в п. 4.3 [формулы (39) — (41)].

Расчет изменений составляющих стока на речных водосборах рекомендуется [9] производить по различным формулам в зависимости от размеров их бассейнов и обеспеченности необходимыми данными. Конструкция формул основана на принципе

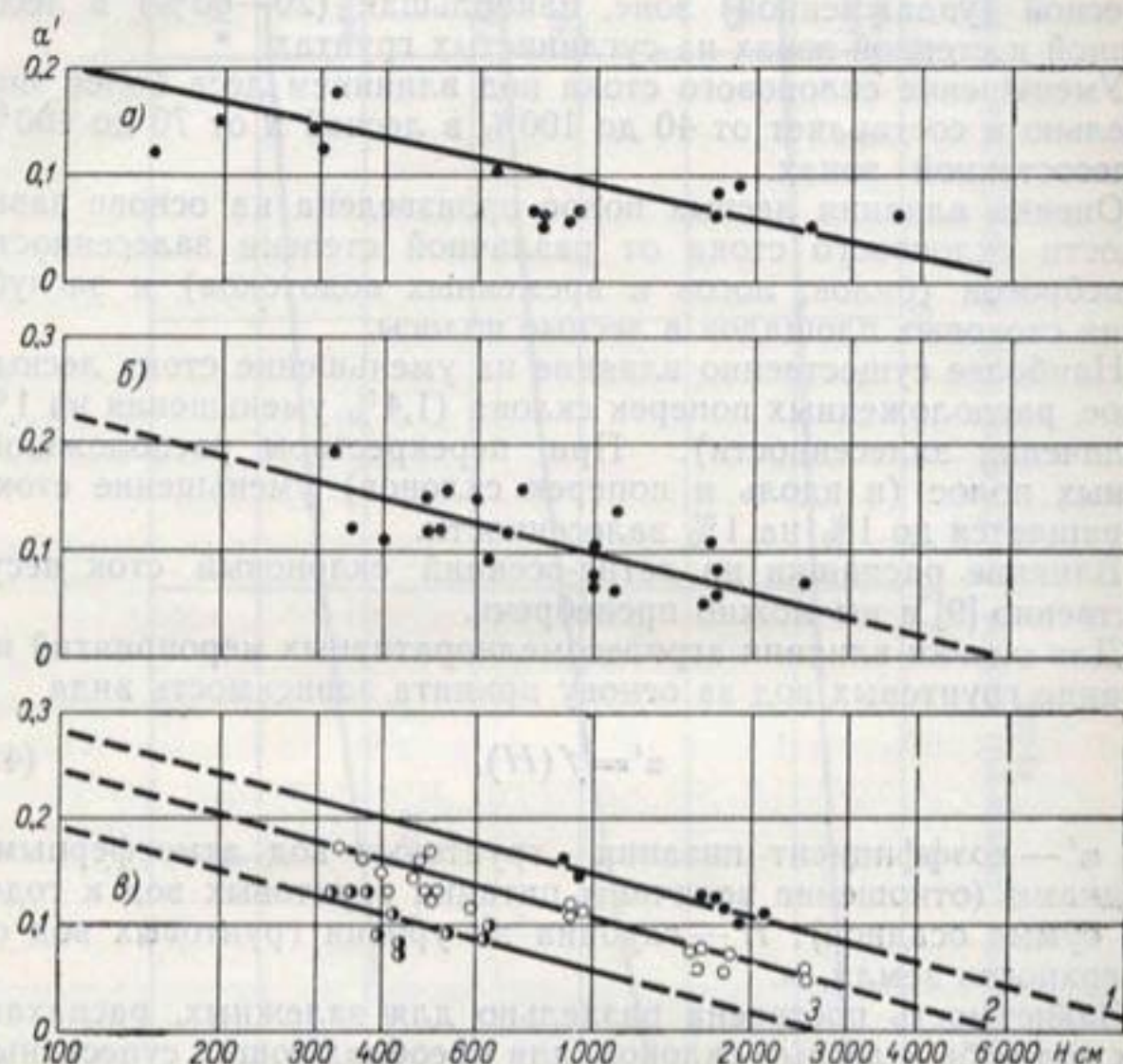


Рис. 34. Зависимость коэффициента питания грунтовых вод a' от глубины залегания их уровня H в средний по увлажненности год в лесостепной зоне для залежи (а), пашни (б) и лесных полос (в).

1 — для лесных полос, расположенных поперек склона, 2 — то же, на водоразделе, 3 — то же, вдоль склона.

веса осреднения основных факторов, влияющих на величину изменения стока.

На основании выполненных исследований производится оценка влияния агромероприятий, леса и лесных полос на изменение суммарного стока рек (ΔY) с грунтовым питанием по формуле

$$\Delta \bar{Y} = \sum \Delta \bar{y}_n + \sum \Delta \bar{y}_r, \quad (48)$$

где $\sum \Delta \bar{y}_n$ и $\sum \Delta \bar{y}_r$ — соответственно суммарные величины

изменений поверхностного и грунтового стока под влиянием агромероприятий, леса и лесных полос на водосборе.

Результаты оценки влияния агромероприятий на годовой сток при полной распашке водосборов приведены в приложении работы [9]. Они свидетельствуют об отсутствии этого влияния в лесной зоне, относительно небольшом уменьшении стока (на 0—15%) в лесостепной зоне и несколько большем уменьшении стока (на 8—30%) на суглинистых почво-грунтах в степной зоне. На супесчаных (легкосуглинистых) почво-грунтах уменьшение годового стока в 4 раза меньше, чем на суглинистых.

Приведенные цифры характеризуют уменьшение годового стока при годовых осадках ниже нормы в пределах данной природной зоны и глубокой (>25 см) распашке полей. При осадках больше нормы и при обыкновенной (до 25 см) и фактической распашке водосборов величина уменьшения снижается в 1,5 раза и более.

Результаты по оценке влияния леса и лесных полос на сток свидетельствуют об увеличении стока с лесных водосборов в среднем на 10—15% в лесной и лесостепной зонах. С увеличением глубины залегания грунтовых вод (>7—10 м в лесной и >10 м в лесостепной зонах) при уклонах, превышающих 40‰, отмечается уменьшение стока до 5—20%.

Достоверность полученных результатов об изменении годового стока на водосборах согласно уравнению (45) подтверждается результатами выполненной оценки по изменению испарения с почвы в связи с сельскохозяйственным освоением территорий и проведением лесомелиоративных мероприятий [10]. Данные табл. 19 свидетельствуют о том, что величины изменений речного стока под влиянием агромероприятий и леса равновелики

Таблица 19

Соотношение возможного среднемноголетнего изменения стока и испарения на водосборах под влиянием агромероприятий и леса (мм)

Природная зона	Угодье	Изменение стока ΔY	Изменение испарения ΔE	Увеличение осадков над лесом ΔX	$\Delta X - \Delta E$
Лесная (избыточного увлажнения)	Поле	—(3—8)	11		
	Лес ($H_{гр} < 10$ м)	10—20	40	55	15
Лесостепная и степная (недостаточного увлажнения)	Поле	—(4—20)	16		
	Лес ($H_{гр} < 10$ м)	10—22	32	60	28
	Лес ($H_{гр} > 10$ м)	—(6—10)	70	60	—10

Примечания: 1. Данные приведены для характерных в пределах зон уклонов склонов и глубин залегания грунтовых вод.

2. $H_{гр}$ — глубина до уровня грунтовых вод от поверхности.

величинам изменений в испарении, если учесть некоторое увеличение осадков над лесом и лесными полосами. То же подтверждается результатами оценки влияния агролесомелиоративных мероприятий на конкретных водосборах (табл. 20).

Таблица 20

Результаты оценки влияния агролесомелиоративных мероприятий на сток, рассчитанные основным и косвенным методами (в % по отношению к климатическому и бытовому стоку)

Река — пункт	Площадь водосбора, км ²	Доля площади водосбора, занятая		Основной метод		Косвенный метод	
		пашней	лесом	климатический сток	бытовой сток	климатический сток	бытовой сток
Десна — г. Брянск	12 400	0,31	0,31	5	5	3	3
Битюг — г. Бобров	7 340	0,75	0,05	—4	—5	—8	—9
Ишим — г. Целиноград	7 400	0,36	0,01	—8	—8	—9	—10
Тобол — г. Кустанай	28 224	0,67	0,03	—17	—19	—16	—19
Малый Иртыш — с. Селезиха	2 110	0,70	0	—7	—7	—9	—10
Камелик — с. Новоспасское	8 900	0,40	0	—10	—12	—10	—12
Девичья — г. Нижне-девичья	76	0,70	0,09	—5	—5	—6	—7

Оценка влияния агролесомелиоративных мероприятий на изменение испарения с почвы произведена на основе сопоставления фактических данных по суммарному испарению за год с различных угодий и вычисленных по зависимости

$$\frac{E}{E_0} = f\left(\frac{R}{LX}\right), \quad (49)$$

где $\frac{E}{E_0}$ — отношение испарения к испаряемости с различных угодий; $\frac{R}{LX}$ — радиационный индекс сухости, т. е. отношение радиационного баланса R к атмосферным осадкам X и скрытой теплоте парообразования L .

Оценка влияния осуществлена в пределах всех природных зон как в многолетнем разрезе, так и для периодов отдельных лет с различной увлажненностью атмосферными осадками.

Результаты расчетов [10] свидетельствуют о незначительном увеличении испарения с сельскохозяйственных угодий: 2—3% с яровых и 6—8% с озимых культур с колебаниями до 5—10% во влажные годы и до нуля в засушливые. Испарение

с сельскохозяйственных угодий, расположенных среди лесных полос, несколько уменьшается в среднем на 3%.

Результаты по оценке влияния леса и лесных полос на испарение свидетельствуют об относительно небольшом (8—11%) увеличении испарения с леса относительно безлесных (луговых, целинных) склонов при неглубоком (4—10 м) залегании грунтовых вод и относительно большом увеличении испарения (до 15—20%) при глубоком (>10 м) залегании грунтовых вод.

Приведенное схематическое изложение методики и результатов исследований влияния агролесомелиоративных мероприятий на сток показывает, что этот вопрос весьма сложный и достоверное решение его может быть достигнуто только воднобалансовым методом.

Для окончательного решения данного вопроса требуются материалы многочисленных экспериментальных воднобалансовых исследований на различных угодьях. При этом недостаточно ограничиваться лишь существующими пассивными экспериментами на воднобалансовых станциях и ГМО. Необходимо проведение активных экспериментов, которые позволили бы в сравнительно короткий срок увеличить информацию по изменению стока от факторов, его обуславливающих в диапазоне всех возможных изменений любого из них (см. п. 3.14). При этом целесообразно проведение экспериментов применительно к исследованию зависимостей:

$$\alpha = f(U_t, C, I, M), \quad (50)$$

$$\alpha' = f(U_t, C, I, h, M, L), \quad (51)$$

где α и α' — соответственно коэффициенты склонового стока и питания грунтовых вод на участках с различной подстилающей поверхностью (залежь, степь, пахота, лес, лесные полосы); U_t — параметр, учитывающий влияние влажности и промерзаемости почво-грунтов; C — радиационный индекс сухости; I — уклон склона; M — механический состав почво-грунтов в метровом слое (песок, супесь, суглинок, глина); L — литологическое строение почво-грунтов зоны аэрации; h — глубина до уровня грунтовых вод от поверхности земли.

4.5. Оценка выноса минеральных удобрений с сельскохозяйственных угодий нечерноземной зоны ЕТС

Интенсификация сельскохозяйственного производства предусматривает увеличение количества вносимых на пахотные поля и луга минеральных удобрений до норм, обеспечивающих оптимальное развитие растений. Поэтому возникла необходимость оценки возможных потерь минеральных удобрений за счет их выноса поверхностным и подземным стоком с сельскохозяй-

ственных угодий. В условиях Северо-Запада ЕТС большая часть поверхностного стока со склонов формируется в период весеннего половодья, а на долю дождевого стока приходится не более 10—15%.

Оценка возможных потерь минеральных удобрений за счет выноса их весенними водами была произведена по данным стационарных (1965—1969 гг.) и специальных экспедиционных (1968—1969 гг.) исследований на стоковых и воднобалансовых площадках [2].

Стационарные исследования проводились на 10 стоковых и одной воднобалансовой небольших площадках Валдайской научно-исследовательской гидрологической лаборатории им. В. А. Урываева (Новгородская область), а экспедиционные (экспедиция по изучению водно-солевого баланса) — на 35 стоковых и 3 воднобалансовых площадках, расположенных на полях Псковской области. Все экспедиционные стоковые площадки имели размеры 150×50 м, а воднобалансовые — 100×30 м и располагались на полях с озимыми, разнотравьем (луг, клевер) и зяблевой пахотой (поперечная и продольная) и имели различный состав почво-грунтов (песок, супесь, суглинок).

Вынос минеральных удобрений определялся методом сравнения стока растворенных химических веществ с удобренных и удобренных площадок, имеющих примерно одинаковые все прочие характеристики, включая запасы воды в снеге, влажность и глубину промерзания почв. Перед началом исследований, а затем ежегодно определялся агрохимический фон почв каждой площадки, т. е. содержание подвижного фосфора (P_2O_5) и обменного калия (K_2O). Минеральные удобрения (N, P, K) вносились на площадки ежегодно в соответствии с оптимальными нормами и в сроки, рекомендованные для этих областей управления сельского хозяйства. Расчет оптимальных норм удобрений выполнялся ежегодно с учетом имеющегося на каждой площадке запаса питательных веществ, т. е. с учетом агрохимического фона почв.

Основные результаты исследований, осредненные по ряду площадок за период наблюдений, представлены в табл. 21.

В результате проведенных исследований на основе водно-солевого баланса получены следующие выводы.

1. Наибольшая концентрация растворенных в воде азота, фосфора и калия наблюдается в начале и в конце периода формирования склонового (поверхностного) стока.

2. Вынос минеральных удобрений поверхностным стоком с сельскохозяйственных угодий незначителен и не превышает 6% для азота, 4% для калия и 1% для фосфора от ежегодно вносимого количества удобрений.

3. Наибольшее количество азота и калия смывается с полей, занятых озимыми культурами, а наименьшее — с зяблевой пахоты, имеющей поперечные борозды.

Таблица 21

Средние данные о количестве внесенного на площадки азота (N), фосфора (P) и калия (K), их концентрации в стоке талых вод и вынос с различных угодий и почво-грунтов [2]

Повторность опыта	Почво-грунты	Внесено, кг/га			Средняя концентрация за период половодья, мг/л			Вынос, кг/га		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K
Озимая рожь										
1	Супесь	—	—	—	5,2	0,09	4,9	6,3	0,10	6,0
2	"	83	30	66	5,6	0,14	8,6	6,5	0,16	9,9
2	Суглинок	—	—	—	4,1	0,10	3,0	6,3	0,16	4,8
3	"	66	34	66	6,0	0,09	5,1	10,1	0,15	8,6
Клевер, луг										
8	Супесь	—	—	—	0,7	0,10	6,0	0,2	0,03	0,8
8	"	66	24	92	1,6	0,22	7,3	0,2	0,07	1,1
5	Суглинок	—	—	—	1,2	0,09	4,2	1,0	0,09	3,2
5	"	—	21	64	1,3	0,12	6,3	1,1	0,12	4,8
Зябь, продольная пахота										
4	Супесь	—	—	—	1,6	0,05	1,7	0,4	0,03	0,8
5	"	63	15	82	2,7	0,07	3,6	1,9	0,04	2,2
7	Суглинок	—	—	—	2,1	0,04	2,0	2,5	0,05	2,3
9	"	60	26	60	3,3	0,05	3,0	4,0	0,06	3,4
Зябь, поперечная пахота										
3	Супесь	—	—	—	2,7	0,17	2,6	1,9	0,11	1,8
3	"	85	16	98	3,4	0,11	3,8	1,7	0,08	2,0
3	Суглинок	—	—	—	1,6	0,04	2,3	1,4	0,03	2,0
3	"	54	23	52	2,3	0,05	3,3	1,3	0,03	2,0

Примечания: 1. Повторность опыта означает количество площадок или число лет наблюдений, по которым выполнено осреднение (годо-площадки). 2. Тире (—) указывает, что площадки были контрольными, т. е. удобрения не вносились.

При прочих равных характеристиках полей наибольшее количество удобрений смывается с суглинистых почв, а наименьшее — с песчаных.

Эти различия в потерях удобрений, связанные с характером поверхности почв и их механическим составом, обуславливаются в основном величинами поверхностного стока и глубиной эрозионных борозд, образующихся при стоке талых вод. Наибольшие объемы талого стока и, как следствие, наиболее глубокие эрозионные борозды наблюдаются на суглинистых почвах и при ровной поверхности пашни (озимь).

4. Концентрация азота, фосфора и калия в воде поверхностного стока выше, чем в стоке внутрипочвенных и грунтовых вод. Однако количественный вынос указанных элементов будет ежегодно определяться соотношением объемов поверхностного и грунтового стока.

Это соотношение определяется в основном глубиной промерзания почв. В годы с глубоко промерзшими почвами будет преобладать поверхностный сток, как это было в 1968 и 1969 гг., а в годы с талыми почвами — подземный сток. Однако концентрация растворенных удобрений в подземном стоке меньше, чем в поверхностном. Поэтому суммарный вынос минеральных удобрений (поверхностным и подземным стоком), по-видимому, не превысит вынос удобрений поверхностным стоком¹.

5. Интенсификация сельскохозяйственного производства, по-видимому, не изменит существенно химический состав вод рек нечерноземной зоны ЕТС, поскольку концентрация химических веществ, поступающих со склонов сначала в первичную гидрографическую сеть, а затем в реки, непрерывно уменьшается в результате разбавления талыми, слабоминерализованными водами.² Кроме того, часть химических веществ аккумулируется в заболоченных понижениях и тальвегах логов, т. е. в первичной гидрографической сети.² Для надежного суждения о будущем изменении химического состава вод рек под влиянием вносимых минеральных удобрений до их оптимальных количеств необходимо продолжение аналогичных исследований в более широком плане с обязательным изучением химического состава подземных и поверхностных вод на склонах и в гидрографической сети.² Рассмотренные здесь результаты исследований 1965—1969 гг. являются лишь первым шагом на пути решения общей проблемы о судьбе рек.

4.6. Определение возвратных вод на оросительных системах

По вопросу количественной оценки возвратных вод на оросительных системах в литературе встречаются самые противоречивые сведения. Одной из причин такой разноречивости является отсутствие единой теории их формирования и обоснованного приема количественного определения. В перечне задач экспедиции на орошаемых землях Южного Казахстана (см. главу 2) вопросу разработки обоснованного приема количественной оценки возвратных вод уделяется большое внимание [95]. Это и понятно, ведь без оценки возвратных вод в общем водном балансе орошаемых полей нельзя решить проблему влияния орошения на водные ресурсы и сток рек.

¹ Это требует дальнейшей экспериментальной проверки.

² Это требует экспериментальной проверки.

Возвратные воды состоят из двух составляющих: поверхностной (сбросные воды) и грунтовой. Сбросные воды достаточно надежно могут быть определены гидрометрическим способом. Для этого оборудуются гидрометрические створы в местах сброса излишков оросительных вод с орошаемых полей. Грунтовая составляющая возвратных вод не поддается прямому измерению. В принципе могут быть два способа ее определения: воднобалансовый и гидродинамический: в основе последнего лежат уравнения неустойчивого режима подземных вод. В обоих случаях возвратные воды могут быть оценены по разности грунтового стока с орошаемых полей (массивов, контуров)¹.

Общее уравнение водного баланса сельскохозяйственного поля (массива, контура) для зоны аэрации и водоносного слоя (при отсутствии обмена с глубокими пластами) при наличии орошения и при его отсутствии можно записать в следующем виде:

при наличии орошения

$$X + M + Z_0 + Y_{п.г} - Y_{г.г} + Y_{п.п} - Y_{п.п} - E - M_{сб} + \Delta U = 0, \quad (52)$$

где

$$\Delta U = \Delta U_{гр} + \Delta W + \Delta U_{сн} + \Delta U_{пок}; \quad (52')$$

при отсутствии орошения

$$X_1 + Y_{п.г1} + Y_{п.п1} - Y_{г1} - Y_{п1} - E_1 + \Delta U_1 = 0, \quad (53)$$

где

$$\Delta U_1 = \Delta U_{гр1} + \Delta W_1 + \Delta U_{сн1} + \Delta U_{пок1}. \quad (53')$$

В этих уравнениях X — атмосферные осадки; M — оросительные воды, подаваемые непосредственно на орошаемые поля; Z_0 — фильтрация из магистральных и хозяйственных каналов; $Y_{п.г}$, $Y_{г.г}$ — приток и отток грунтовых вод с орошаемого поля или массивов и контуров; $Y_{п.п}$, $Y_{п.п}$ — приток и отток поверхностных вод; E — суммарное испарение с орошаемых полей и неорошаемых участков; $M_{сб}$ — сброс излишков оросительных вод; ΔU — изменение (аккумуляция или расходование) запасов воды на поверхности (в снеге $\Delta U_{сн}$, понижениях микрорельефа $\Delta U_{пок}$), а также в почво-грунтах зоны аэрации ΔW и в грунтовых водах $\Delta U_{гр1}$.

Все элементы водного баланса в уравнениях при расчетах принимаются как среднее по площади поля, массива, контура.

¹ В общую площадь орошаемого массива входят сельскохозяйственные поля, а также примыкающие к ним неорошаемые участки. В орошаемый контур входят как земли орошаемого массива, так и территория, на которой расположены каналы, коллекторы и другие оросительные сооружения, по которым вода подается на орошаемые массивы или сбрасывается с них.

По уравнениям (52) и (53) можно вычислить величины грунтового стока с сельскохозяйственного поля (массива) при наличии орошения Y_r и при его отсутствии Y_{r1} . Очевидно, при прочих равных условиях и, в частности, при неизменности основных климатических элементов за периоды, разность между Y_r и Y_{r1} представляет собой грунтовую составляющую возвратных вод.

Произведем соответствующие преобразования и совместный анализ уравнений. Разность между уравнениями (52) и (53) в общем виде можно записать

$$(X + X_1) + (Y_{n,r} - Y_{n,r1}) + (Y_{r1} - Y_r) + (Y_{n,n} - Y_{n,n1}) + (Y_{n1} - Y_n) + (E_1 - E) + (\Delta U - \Delta U_1) + M + Z_0 - M_{сб} = 0. \quad (54)$$

Решив уравнение (54) в отношении грунтовой составляющей возвратных вод $Y_r - Y_{r1}$ и обозначив ее буквой B_r , запишем

$$B_r = Y_r - Y_{r1} = (X - X_1) + (Y_{n,n} - Y_{n,n1}) + (Y_{n1} - Y_n) + (Y_{n,r} - Y_{n,r1}) + (E_1 - E) + (\Delta U - \Delta U_1) + Q - M_{сб}, \quad (55)$$

где $Q = M + Z_0$.

В данном случае Q означает величину водозабора в начале канала.

Суммарные возвратные воды с орошаемого поля (массива, контура) B_c определяются по уравнению

$$B_c = (Y_r - Y_{r1}) + M_{сб}, \quad (56)$$

или

$$B_c = (X - X_1) + (Y_{n,n} - Y_{n,n1}) + (Y_{n,r} - Y_{n,r1}) + (Y_{n1} - Y_n) + (E_1 - E) + (\Delta U - \Delta U_1) + Q. \quad (57)$$

В частном случае для Арысь-Туркестанской, Кзылкумской и Таласской оросительных систем, принимая $(Y_{n,n} - Y_{n,n1})$ и $(Y_{n,r} - Y_{n,r1})$ равными нулю (величины притока с гор поверхностных и грунтовых вод на орошаемые и неорошаемые поля практически одинаковые), уравнения (55) и (57) можно записать в простом виде:

$$B_r = (X - X_1) + (Y_{n1} - Y_n) + (E_1 - E) + (\Delta U - \Delta U_1) + Q - M_{сб}, \quad (55')$$

$$B_c = (B_r + M_{сб}) = (X - X_1) + (Y_{n1} - Y_n) + (E_1 - E) + (\Delta U - \Delta U_1) + Q. \quad (57')$$

Из уравнений (55') и (57') следует, что грунтовая составляющая возвратных вод и суммарные возвратные воды зависят от объема водозабора, а также от величин изменения осадков, стока, испарения на орошаемых участках, аккумуляции воды на поверхности, в зоне аэрации и водоносном слое.

Таблица 22

Величины водоподачи на поля, водозабор в начале канала, годовой сток и возвратные воды в оросительных системах [95]

Характеристика	Арысь-Туркестанская				
	1967	1968	1969	1970	среднее
Водоподача, мм	712	1090	922	749	868
Водозабор, мм	553	633	574	615	594
Сток с поля, мм	437	719	633	490	570
% от водоподачи	61	66	69	65	66
Сток с массива, мм	213	188	263	254	230
% от водозабора	39	30	46	41	39
Возвратные воды, поступающие в водонесущий, мм	4	3	13	4	6
% от водозабора	0	0	0	0	0

Характеристика	Кзылкумская				
	1967	1968	1969	1970	среднее
Водоподача, мм		5335	4511		4923
Водозабор, мм	5350	5583	5004	5797	5434
Сток с поля, мм		4445	3452		3948
% от водоподачи	61	83	76	64	80
Сток с массива, мм	4014	4850	3998	4946	4452
% от водозабора	75	87	80	85	82
Возвратные воды, поступающие в водонесущий, мм	2975	3734	3371	4085	3541
% от водозабора	56	67	67	70	65

Характеристика	Таласская				
	1967	1968	1969	1970	среднее
Водоподача, мм	900	1248	1116	1237	1125
Водозабор, мм	959	1013	887	1001	965
Сток с поля, мм	545	672	773	788	694
% от водоподачи		54	69	64	62
Сток с массива, мм	502	364	473	415	438
% от водозабора	52	36	53	42	46
Возвратные воды, поступающие в водонесущий, мм	161	116	159	123	139
% от водозабора	17	11	18	12	14

В качестве примера в табл. 22 приведены данные по возвратным водам на упомянутых выше оросительных системах и вычисленных по уравнениям (55') и (57').

Анализ уравнений (55') и (57') позволяет отметить некоторые особенности формирования возвратных вод.

1. Испарение с поверхности массива с вводом орошения практически не изменилось. На практике это имеет место в тех случаях, когда мелиорации подвергаются пойменные участки с произрастающей на них влаголюбивой растительностью, испаряющей столько же влаги, сколько ее расходуют орошаемые поля. В этом случае можно принять $E \approx E_1$ и тогда уравнение (55') будет приведено к виду

$$B_r = (X - X_1) + (Y_{п1} - Y_{п2}) + (\Delta U - \Delta U_1) + Q - M_{сб}.$$

Если принять $X = X_1$, $Y_{п1} \approx Y_{п2}$, $\Delta U = \Delta U_1$ и $M_{сб} = 0$ (что вполне вероятно), тогда грунтовая составляющая возвратных вод может быть равна величине водозабора Q .

2. Испарение с поверхности массива с вводом орошения находится в соотношении $E < E_1$, что имеет место, когда орошаемые земли размещаются на территории, занятой зарослями тугая, испаряющими из-за более длительного вегетационного периода на 20—50% влаги больше, чем, например, хлопчатник или культурные злаки. В этом случае при $X \approx X_1$, $Y_{п1} \approx Y_{п2}$, $\Delta U \approx \Delta U_1$ и $M_{сб} = 0$ согласно уравнению (55') грунтовая составляющая будет равна водозабору Q плюс суммарное испарение с орошаемых полей, умноженное на коэффициент $K = 1,2 \div 1,5$ (K — соотношение продуктивного и непродуктивного испарения). Другими словами, с массива, на котором до орошения произрастали камыш, тугай и другая влаголюбивая растительность, в первый период освоения земель стечет не только вся вода, которая была подана для орошения, но и часть влаги, высвобождающейся за счет уменьшения суммарного испарения с водосбора. Однако в последующий период осушения территории под воздействием дренажа значительная часть оросительной воды будет расходоваться на возмещение недостатка влаги в почве.

3. Испарение с поверхности массива с вводом орошения находится в соотношении $E > E_1$, что характерно для пустынных районов, где испарение естественной растительности в 4—5 раз меньше, чем, например, с хлопчатника или риса, грунтовая составляющая возвратных вод согласно уравнению (55') при прочих равных условиях будет составлять лишь небольшую долю водозабора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Насколько успешно решена поставленная авторами задача, предоставляется судить читателям и специалистам, которые в той или иной степени связаны или будут связаны с воднобалансовыми исследованиями.

Книга является первым опытом обобщения данных по организации такого рода исследований и, возможно, представленный в различных главах материал либо недостаточен, либо, наоборот,

излишне подробен. Все ценные замечания и предложения, высказанные по данной книге специалистами в области воднобалансовых исследований, будут с благодарностью приняты и учтены в дальнейшем.

Объем книги позволил включить лишь материал, отражающий принцип организации и методику воднобалансовых исследований, вытекающие из опыта экспедиционных работ ГГИ. Однако эта часть материала оказалась вполне достаточной для типовых обобщений в данном направлении.

Основное внимание в книге уделено главе «Организация наблюдений», в которой излагаются стандартные на сети гидрометеорологических станций наблюдения и более подробно возможные приемы организации и производства экспедиционных работ.

Вследствие относительно коротких сроков работ экспедиций получение наиболее полной информации возможно лишь при некотором отступлении от существующих норм и требований, предъявляемых к исследованиям в стационарных условиях. Это касается организации и устройства пунктов наблюдений по учету речного, поверхностного и подруслового стока, конденсации атмосферной влаги в почво-грунтах зоны аэрации, испарения с почвы, режима грунтовых вод, снежного покрова и т. д. Более подробное изложение методики по производству влагосъемок в почво-грунтах и определению оптимального количества скважин (пунктов наблюдений), заимствованное из методических рекомендаций [43], вызвано почти полным отсутствием этого издания в настоящее время.

Ряд вопросов по организации и методике выполнения полевых работ, например по изучению ледового и термического режимов водных объектов, а также использованию аэрометодов и новейших приборов при решении конкретных задач воднобалансовых исследований, еще не нашли своего отражения в книге, во-первых, по причине отсутствия прямого отношения (ледотермика) к задачам воднобалансовых исследований, во-вторых, вследствие недоработанности аэрометодов и новейших приборов для практического использования в экспедиционных воднобалансовых исследованиях в связи с недостаточной точностью массовых измерений этими методами отдельных компонентов уравнения водного баланса. Это касается измерения с самолетов снегозапасов, расходов воды в реках с широкими поймами, глубин рек и озер; радиолокационное измерение осадков, применение гамма- и нейтронных методов для измерения влажности почвы и снежного покрова (приборы НИВ и М-100) и т. д. При дальнейшем развитии таких методов в направлении повышения точности измерений и экономичности они найдут применение в экспедиционных воднобалансовых исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булавко А. Г. Водный баланс речных водосборов. Л., Гидрометеониздат, 1971. 304 с.
2. Буров В. С. Исследование выноса минеральных удобрений с сельскохозяйственных угодий склоновым стоком.— «Труды ГГИ», 1971, вып. 198, с. 176—196.
3. Водный баланс СССР и его преобразование. Под ред. М. И. Львовича. М., «Наука», 1969. 337 с.
4. Водный баланс Кустанайской области. Л., Гидрометеониздат, 1966. 209 с.
5. Водогрецкий В. Е. Опыт по измерению конденсации водяных паров из атмосферы в почво-грунтах.— «Метеорология и гидрология», 1968, № 4, с. 107—109.
6. Водогрецкий В. Е. Опыт измерения подруслового стока рек.— «Метеорология и гидрология», 1968, № 10, с. 90—92.
7. Водогрецкий В. Е. Результаты воднобалансовых исследований на участке р. Тургай, в районе песков Тусум.— «Труды КазНИГМИ», 1968, вып. 32, с. 100—105.
8. Водогрецкий В. Е. Метод расчета питания грунтовых вод и оценка влияния агролесомелиоративных мероприятий на его величину.— «Труды ГГИ», 1972, вып. 206, с. 52—91.
9. Водогрецкий В. Е. Оценка и учет влияния агролесомелиоративных мероприятий на сток.— «Труды ГГИ», 1973, вып. 221, с. 47—103.
10. Водогрецкий В. Е., Гридасова М. В. Оценка влияния агролесомелиоративных мероприятий на испарение с водосборов.— «Труды ГГИ», 1973, вып. 221, с. 160—182.
11. Вольфцун И. Б. Расчеты элементов баланса грунтовых вод. Л., Гидрометеониздат, 1972. 271 с.
12. Выржиковский В. К., Плащев А. В., Чекмарев В. А. Экспедиционные гидрологические исследования. Л., Гидрометеониздат, 1970.
13. Голубев В. С. О корректном измерении атмосферных осадков осадкомером Третьякова.— «Труды ГГИ», 1970, вып. 181, с. 87—97.
14. Голубев В. С. Методика корректировки срочных и месячных величин атмосферных осадков и результаты ее проверки.— «Труды ГГИ», 1973, вып. 207, с. 11—27.
15. Заводчиков А. Б. Сток и водный баланс склонов в зоне недостаточного увлажнения.— «Труды ГГИ», 1966, вып. 134, с. 191—232.
16. Инструкция по учету стока воды на гидростанциях и гидроузлах. Л., Гидрометеониздат, 1955. 20 с.
17. Инструкция по учету стока на головных водозаборных сооружениях магистральных оросительных каналов. Л., Гидрометеониздат, 1955. 16 с.
18. Изучение подруслового стока при воднобалансовых исследованиях (методические рекомендации). Л., Изд. ГГИ, 1968. 44 с.
19. Капотова Н. И. Водоотдача водоносных грунтов.— «Труды ГГИ», 1972, вып. 194, с. 218—241.
20. Капотов А. А. Исследование водного режима почво-грунтов зоны аэрации, их промерзания, водно-физических и инфильтрационных свойств.— «Труды ГГИ», 1969, вып. 176, с. 70—107.
21. Капотов А. А. Лабораторные исследования водопропускной способности мерзлых и талых почво-грунтов (по материалам мерзлотной лаборатории ВНИГЛ).— «Труды ГГИ», 1972, вып. 194, с. 22—45.
22. Капотов А. А., Крестовский О. И., Соколова Н. В. Влажность и промерзание почво-грунтов в районах Северо-Запада ЕТС.— «Труды ГГИ», 1974, вып. 214, с. 201—228.
23. Киселев П. А. Исследование баланса грунтовых вод по колебаниям их уровня. Изд. АН БССР, 1961. 202 с.
24. Коль С. А. Определение скоростей фильтрации подруслового потока.— «Труды ГГИ», 1948, вып. 8, с. 175—187.
25. Корзун В. И. Сток и потери талых вод на склонах полевых водосборов. Л., Гидрометеониздат, 1968. 168 с.
26. Корзун В. И., Соколов А. А. Состояние и перспективы развития гидрологии. В кн.: Генеральные доклады IV Всесоюзного гидрологического съезда. Л., Гидрометеониздат, 1973, с. 5—33.
27. Коронкевич Н. И. Преобразование водного баланса. М., «Наука», 1973. 116 с.
28. Крестовский О. И. Водный баланс водосборов ВНИГЛ.— «Труды ГГИ», 1969, вып. 165, с. 3—71.
29. Крестовский О. И., Капотова Н. И., Капотов А. А. Методы учета изменения запаса воды на поверхности водосборов, почво-грунтах зоны аэрации и запасов грунтовых вод.— В кн.: Мат-лы семинара по расчетам водного баланса речных бассейнов и организации комплексных воднобалансовых и агрометеорологических наблюдений. Валдай, Изд. ГГИ, 1966, с. 67—101.
30. Крестовский О. И. Результаты расчетов детальных и приближенных водных балансов речных бассейнов Севера и Северо-Запада ЕТС.— В кн.: Мат-лы конференции по проблеме развития теории и методов расчета водного баланса речных бассейнов. Валдай, Изд. ГГИ, 1971, с. 32—48.
31. Крестовский О. И. Исследования стока и водного баланса водосборов.— «Труды ГГИ», 1969, вып. 176, с. 22—50.
32. Крестовский О. И. Принципы оценки и прогноза потерь весенних вод на водосборах Северо-Запада ЕТС.— «Труды ГГИ», 1972, вып. 194.
33. Крестовский О. И., Постников А. Н., Сергеева А. Г. Определение испарения с водосборов Северо-Запада ЕТС для расчета и прогноза потерь воды в весенний период.— «Труды ГГИ», 1974, вып. 214, с. 84—105.
34. Куделин Б. И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. М., Изд. МГУ, 1960. 343 с.
35. Лебедев А. В. Оценка питания и баланса грунтовых вод по данным о режиме их в отдельных пунктах Юго-Востока Европейской части СССР и Северного Казахстана. М., «Недра», 1967. 172 с.
36. Материалы воднобалансовых исследований весеннего половодья в бассейне р. Шелонь, 1962—1963 гг. Валдай, Изд. ГГИ, 1964. 367 с.
37. Материалы семинара по расчетам водного баланса речных бассейнов и организации комплексных воднобалансовых и агрометеорологических наблюдений. Валдай, Изд. ГГИ, 1966. 545 с.
38. Материалы семинара по расчетам водного баланса речных бассейнов. Валдай, Изд. ГГИ, 1967. 286 с.
39. Материалы семинара по организации комплексных воднобалансовых и агрометеорологических наблюдений и расчетам водного баланса сельскохозяйственных полей. Л., Изд. ГГИ, 1968. 265 с.
40. Материалы конференции по проблеме развития теории и методов расчета водных балансов речных бассейнов. Валдай, Изд. ГГИ, 1971. 323 с.
41. Методические указания управления Гидрометслужбы № 46. Организация пунктов наблюдений над уровнем болотных и грунтовых вод на гидрометеорологических станциях. Л., Гидрометеониздат, 1957. 24 с.
42. Методические указания управления Гидрометслужбы № 48. Организация наблюдений за режимом подземных вод на водосборах. Л., Гидрометеониздат, 1957. 84 с.
43. Методические указания управления Гидрометслужбы № 52. Организация и производство наблюдений над влажностью почво-грунта на малых водосборах стоковых станций. Л., Гидрометеониздат, 1959. 76 с.
44. Методические указания управления Гидрометслужбы № 56. Картометрические работы для получения гидрографических характеристик. Л., Гидрометеониздат, 1960. 98 с.
45. Методические указания управления Гидрометслужбы № 68. Анализ и обобщение результатов наблюдений и экспериментальных работ болотных гидрометеорологических станций. Л., Изд. ГГИ, 1963. 52 с.
46. Методические указания управления Гидрометслужбы № 70. Производство наблюдений над интенсивностью снеготаяния и водоотдачей из снежного покрова. Л., Гидрометеониздат, 1963. 44 с.

47. Методические рекомендации по изучению режима поверхностных и подземных вод в карстовых районах. Л., Гидрометеониздат, 1969. 150 с.
48. Методические указания управлениям Гидрометслужбы № 80. Расчет водного баланса сельскохозяйственных полей. Л., Гидрометеониздат, 1971.
49. Методические указания управлениям Гидрометслужбы № 82. Публикация материалов наблюдений станций комплексной воднобалансовой и агрометеорологической опорной сети, почвенно-испарительных пунктов. Л., Гидрометеониздат, 1971. 43 с.
50. Методические указания управлениям Гидрометслужбы № 83. Составление водных балансов речных бассейнов за период половодья, летней и зимней межени, значительных дождевых паводков, гидрологический год. Л., Гидрометеониздат, 1971. 34 с.
51. Методические указания управлениям Гидрометслужбы № 84. Производство комплексных воднобалансовых наблюдений на опорных пунктах. Л., Гидрометеониздат, 1973. 160 с.
52. Методические указания управлениям Гидрометслужбы № 89. Составление водных балансов речных бассейнов. Л., Гидрометеониздат, 1974. 96 с.
53. Методическое письмо. Производство наблюдений над интенсивностью снеготаяния и водоотдачей из снежного покрова. М., Гидрометеониздат, 1973.
54. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6, ч. 1. Л., Гидрометеониздат, 1957. 400 с.
55. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 1. Основные положения о гидрометеорологической сети станций и постов ГУГМС. Л., Гидрометеониздат, 1960. 213 с.
56. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 7, ч. 2. Л., Гидрометеониздат, 1961. 94 с.
57. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 2. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Часть 1. Изд. 2-е. Л., Гидрометеониздат, 1963. 310 с.
58. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 2, ч. 1. Л., Гидрометеониздат, 1969. 128 с.
59. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1. Л., Гидрометеониздат, 1969. 308 с.
60. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6, ч. 2. Л., Гидрометеониздат, 1972. 266 с.
61. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 7, ч. 1. Л., Гидрометеониздат, 1972. 476 с.
62. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 8. Л., Гидрометеониздат, 1972. 296 с.
63. Нежиховский Р. А. Руслонная сеть бассейна и процесс формирования стока воды. Л., Гидрометеониздат, 1971. 476 с.
64. Попов О. В. Подземное питание рек. Л., Гидрометеониздат, 1968. 298 с.
65. Пособие по краткосрочным прогнозам паводочного стока рек. Л., Гидрометеониздат, 1973. 147 с.
66. Рахманов В. В. Речной сток и агротехника. Л., Гидрометеониздат, 1973. 199 с. («Труды Гидрометцентра СССР», вып. 114).
67. Режим и баланс подземных вод. Минск. «Наука и техника», 1964. 182 с.
68. Репрезентативные и экспериментальные бассейны. (Международное руководство по исследованиям и практике.) Л., Гидрометеониздат, 1971. 427 с.
69. Рогоцкий В. В. Результаты наблюдений на агроводнобалансовом полигоне ВНИГЛ.— «Труды ГГИ», 1965, вып. 165, с. 72—86.
70. Роде А. А. Методы изучения водного режима почв. М., Изд. АН СССР, 1960. 242 с.
71. Романов В. В., Павлова К. К., Калюжный И. Л. О потерях талых вод на инфильтрацию в подзолистые почвы и черноземы.— «Труды ГГИ», 1974, вып. 214, с. 106—122.
72. Руководство стоковым станциям. Л., Гидрометеониздат, 1954. 288 с.
73. Руководство по контролю и обработке наблюдений над влажностью и промерзанием почвы. Л., Гидрометеониздат, 1955. 80 с.

74. Руководство по производству наблюдений над испарением с почвы и снежного покрова. Ч. 1. Л., Изд. ГГИ, 1963. 156 с.
75. Руководство по определению агрогидрологических свойств почвы на гидрометстанциях. М., Гидрометеониздат, 1964. 124 с.
76. Руководство по изучению режима и баланса подземных вод в речных бассейнах Международного гидрологического десятилетия. М., Изд. ВСЕГИНГЕО, 1968. 255 с.
77. Руководство по производству наблюдений за отдельными элементами водного баланса. Л., Изд. ГГИ, 1970. 155 с.
78. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям. Л., Гидрометеониздат, 1971. 220 с.
79. Руководство по градиентным наблюдениям и определению составляющих теплового баланса. Л., Гидрометеониздат, 1964. 130 с.
80. Руководство воднобалансовым станциям. Л., Гидрометеониздат, 1973. 306 с.
81. Руководство по обработке и подготовке к печати материалов наблюдений на озерах и водохранилищах. Л., Гидрометеониздат, 1972. 250 с.
82. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. Л., Гидрометеониздат, 1973. 111 с.
83. Сборник цен на проектные и изыскательские работы для строительства. Ч. 1. Цены на изыскательские работы. М., Стройиздат, 1967. 465 с.
84. Сидоркина Л. М. Опыт составления водного баланса для лесных и безлесных речных бассейнов.— «Труды ЛГМИ», 1961, вып. 11, с. 208—219.
85. Соколовский Д. Л. Речной сток. Л., Гидрометеониздат, 1968. 539 с.
86. Справочник гидрогеолога. Под ред. М. Е. Альтовского. Госгеолтехиздат, 1962. 616 с.
87. Субботин А. С. Обзор лизиметров и основные требования к их конструкциям.— «Труды ГГИ», 1964, вып. 92, с. 3—48.
88. Указания по производству снегомерных наблюдений на гидрометеорологических станциях и постах. Л., Гидрометеониздат, 1965. 51 с.
89. Указания для управлений Гидрометслужбы по вычислению поправок к измеренным величинам атмосферных осадков. Л., Гидрометеониздат, 1969. 56 с.
90. Указания по расчету испарения с поверхности суши (проект). Л., Изд. ГГИ, 1970. 136 с.
91. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. Л., Гидрометеониздат, 1969. 83 с.
92. Урываев В. А. Экспериментальные гидрологические исследования на Валдае. Л., Гидрометеониздат, 1953. 232 с.
93. Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель. Л., Гидрометеониздат, 1968. 246 с.
94. Харченко С. И. Методика лизиметрических исследований.— «Труды ГГИ», 1968, вып. 135, с. 88—115.
95. Харченко С. И. Исследование влияния орошения на водные ресурсы и водный баланс речных бассейнов, разработка методики определения возвратных вод и безвозвратных потерь.— «Труды ГГИ», 1973, вып. 208, с. 9—47.
96. Чеботарев А. И. Общая гидрология. Л., Гидрометеониздат, 1960. 540 с.
97. Чеботарев А. И. Гидрологический словарь. Л., Гидрометеониздат, 1970. 306 с.
98. Шикломанов И. А. О методах оценки влияния комплекса факторов хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим водосборов.— «Труды ГГИ», 1973, вып. 206, с. 3—21.
99. Шикломанов И. А., Смирнова Л. Е. Оценка влияния хозяйственной деятельности на сток крупных рек Кавказа.— «Труды ГГИ», 1973, вып. 206, с. 92—122.
100. Шпак И. С. Влияние леса на водный баланс водосборов. Киев, «Наукова думка», 1968. 281 с.
101. Шмидт С. В. Техника безопасности при гидрологических работах. Л., Гидрометеониздат, 1964. 171 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
-----------------------	---

1

ЗАДАЧИ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, УРАВНЕНИЯ ВОДНОГО БАЛАНСА

1.1. Общие положения	5
1.2. Задачи воднобалансовых экспедиционных исследований	6
1.3. Уравнения водного баланса	8

2

ПРОГРАММЫ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Структура экспедиций	16
2.2. Программа Вятской экспедиции по изучению весеннего половодья	18
2.3. Программа экспедиционных исследований формирования стока весеннего половодья в бассейне р. Шелони	25
2.4. Программа экспедиционных исследований в Северном Казахстане	26
2.5. Программа экспедиционных исследований в Южном Казахстане	31

3

ОРГАНИЗАЦИЯ НАБЛЮДЕНИЙ

3.1. Выбор объектов воднобалансовых наблюдений	38
3.2. Метеорологические наблюдения	41
3.3. Наблюдения за осадками	42
3.4. Наблюдения за снежным покровом	48
3.5. Гидрологические наблюдения	54
3.6. Определение подруслового стока рек	63
3.7. Наблюдения за испарением	69
3.8. Изучение конденсации атмосферной влаги в почво-грунтах	78
3.9. Наблюдения за влагозапасами почво-грунтов и определение их водно-физических свойств	82
3.10. Наблюдения за грунтовыми водами	95
3.11. Наблюдения на болотах и заболоченных землях	97
3.12. Наблюдения за глубиной промерзания и оттаивания почвы	100
3.13. Воднобалансовые наблюдения на водохранилищах и озерах	101
3.14. Активный эксперимент в воднобалансовых исследованиях	104

4

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

4.1. Сток и водный баланс водосборов в период весеннего половодья в бассейне р. Шелони	106
4.2. Оценка потерь весенних вод в бассейне р. Вятки	113
4.3. Оценка величины питания грунтовых вод атмосферными осадками в районах Северного Казахстана	115
4.4. Оценка влияния агролесомелиоративных мероприятий на сток	124
4.5. Оценка выноса минеральных удобрений с сельскохозяйственных угодий нечерноземной зоны ЕТС	131
4.6. Определение возвратных вод на оросительных системах	134
Заключение	138
Список литературы	140