ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

*ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ*

МАТЕРИАЛЫ

Междуведомственного совещания по проблеме изучения испарения с поверхности суши

Валдай 1961

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

МАТЕРИАЛЫ

Междуведомственного совещания по проблеме изучения испарения с поверхности суши

1—5 августа 1961 г.

Валдай. 1961

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема изучения испарения с поверхности суши тесно связана и является составной частью проблемы изучения и преобразования водного баланса и водного режима территорий, осуществляемого в настоящее время на огромных пространствах нашей страны.

Актуальность проблемы изучения испарения для сельского хозяйства и различных отраслей промышленности особенно возросла в связи с решениями январского Пленума ЦК КПСС 1961 г. по дальнейшему увеличению производства сельскохозяйственных продуктов в нашей стране, предусматривающими проведение крупных водохозяйственных мероприятий, включающих орошение, обводнение и осушение больших земельных массивов и поднятие культуры земледелия на основе современных достижений науки и техники.

В настоящем издании публикуются материалы работы Междуведомственного совещания по проблеме изучения испарения, созванного по решению Главного управления гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР с целью подведения итогов и обмена опытом различных научных учреждений и производственных организаций, ведущих научно-исследовательские работы по названной проблеме.

На совещании были заслушаны и обсуждены 21 доклад и ряд сообщений.

Доклады совещания посвящены, в основном, рассмотрению методов измерений и расчетов испарения с поверхности суши и транспирации различных сельскохозяйственных культур. В них освещаются также многие другие вопросы проблемы изучения испарения, в том числе о направлениях дальнейших теоретических и экспериментальных исследований и о расширении стационарных наблюдений над испарением с почвы на сети гидрометеорологических и гидрогеологических станций.

Методы измерения испарения с помощью почвенных испарителей и лизиметров рассмотрены в докладах В.Ф. Пушкарева, Р.М. Рахимбаева (совместно с С.А. Анарбаевым и С.Б. Строкович), Д.М. Каца и П.В. Тищенко.

В докладах М.А. Каганова, Д.Л. Розенштока и В.В. Виноградова рассмотрены вопросы автоматизации измерений и регистрации суточного хода испарения с почвы.

Из других методов определения испарения рассмотрены: метод теплового баланса (доклады В.В. Романова и С.Л. Левина), метод водного баланса (доклад И.С. Шпака), метод А.А. Скворцова (доклад Е.А. Цубербиллер и Г.В. Белухиной) и методы расчета испарения по данным метеорологических и агрометеорологических наблюдений. В докладе А.Р. Константинова рассмотрен новый метод расчета испарения по данным стандартных наблюдений на сети гидрометстанций над температурой и влажностью воздуха. А.С.Конторщиков доложил о новом способе расчета испарения по температуре воздуха, осадкам и начальным запасам продуктивной влаги в метровом слое почвы. Некоторые теоретические вопросы исследования и расчета испарения рассмотрены в докладе А.И. Будаговского.

К.И. Каулиной доложено о результатах экспериментального исследования различных методов определения испарения. Полученные ею данные свидетельствуют о наибольшей приемлемости для сети станций метода почвенных испарителей, как наиболее простого и достаточно надежного.

Методом испарителей определялись величины испарения с поверхности обнаженной из-под воды почвы в результате падения уровня в водохранилище, что имеет значение при эксплуатации сезонных водохранилищ, предназначенных для целей ирригации (доклад Б.Е. Милькиса и Л.П. Могильникова).

К.И. Смирновым доложены результаты применения метода испарителей для изучения режима испарения с почвы в Кустанайской области.

Опыт применения новых методов расчета испарения нашел отражение в докладах Р.Н. Олейника и Л.И. Сакали. Авторы сообщили об использовании ими метода расчета испарения по температуре и влажности воздуха для изучения режима испарения на территории Украины и Молдавии.

Экспериментальные исследования испарения с леса, по широкой программе, с применением гидравлических почвенных испарителей и методов турбулентной диффузии, теплового и водного балансов проводятся в ВНИГЛ с 1955 г. О некоторых результатах этих исследований доложил С.Ф. Федоров.

Наряду с докладами,в разделе "Журнал заседаний" публикуются, в кратком изложении, наиболее важные ответы на вопросы, заданные докладчикам, и выступления участников совещания при обсуждении докладов.

Совещание проходило с 1 по 5 августа 1961 г. в Валдайской научно-исследовательской гидрологической лаборатории Государст-

венного гидрологического института (ВНИГЛ), под руководством директора института В.А. Урываева.

Непосредственная работа по подготовке, проведению и обеспечению работы совещания осуществлялась организационной комиссией в составе: В.Ф. Пушкарев (председатель), В.И. Кузнецов (зам.председателя), П.П. Кузьмин, С.Ф. Федоров и секретариатом в составе: О.И. Крестовский (ученый секретарь совещания), Т.В. Гридасова , Т.Г. Федорова, М.Р. Бархатова, В.Н. Васячкина, Н.А. Зыков,Е.И.Рыконкова, В.Е. Серенкина.

В совещании приняли участие 90 человек, представляющие 39 различных научно-исследовательских, проектных и других учреждений.

В процессе работы участникам совещания была предоставлена возможность ознакомиться с программой, методикой исследований и всеми экспериментальными установками и сооружениями Валдайской научно-исследовательской гидрологической лаборатории.

Редактирование "Материалов Междуведомственного совещания по проблеме изучения испарения с поверхности суши" выполнено редакционной коллегией в составе: канд.техн.наук В.И. Кузнецова , канд.геогр.наук П.П.Кузьмина и канд.физ-мат.наук В.Ф. Пушкарева.

Подготовка материалов к печати осуществлена мл.научн. сотрудниками М.Р. Бархатовой и Т.Г. Федоровой.

В.Ф. Пушкарев, канд. физ.-мат. наук
(ГГИ, Ленинград)

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ СУШИ

Изучение испарения с поверхности суши имеет важное значение для улучшения гидрологического обеспечения запросов различных отраслей промышленности и сельского хозяйства. Знание величин испарения необходимо для решения многих практических вопросов, возникающих при планировании и проектировании гидротехнических, мелиоративных и других водохозяйственных мероприятий, для повышения точности гидрологических и агрометеорологических расчетов и эффективности оперативного гидрометеорологического обслуживания народного хозяйства.

Январский Пленум ЦК КПСС в решении важнейшей народнохозяйственной задачи дальнейшего увеличения производства сельскохозяйственных продуктов в нашей стране определил большую роль ирригационных, обводнительных и осушительных работ в создании условий для получения гарантированных, устойчивых высоких урожаев. Широкое развитие мелиоративных работ требует решения задач рационального и экономного расходования воды на орошение во влагодефицитных районах, обеспечения оптимальных режимов влажности почвы для повышения урожайности на орошаемых и осушаемых землях путем соответственного регулирования водного режима при эксплуатации мелиоративных систем, разработки гидрологических обоснований эффективности мер борьбы с засолением и заболачиванием земель в районах орошения. Для решения этих задач необходимо знание водных балансов территорий, гидрометеорологических режимов, физических и химических характеристик и водных свойств почво-грунтов, процессов водообмена в зоне аэрации грунтов, испарения и транспирации различных сельскохозяйственных культур в различных почвенных и климатических условиях и зонах увлажнения. Проблема изучения испарения имеет первостепенное значение для сельскохозяйственного производства, так как без знания процесса испарения и транспирации растений невозможно вести разработку эффективных мероприятий по регулированию водного режима почвы в целях повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Особое внимание заслуживает вопрос о передвижении влаги в почве в процессе испарения.

Важными вопросами проблемы изучения испарения с почвы являются: выбор методов и приборов для исследований, разработка методов расчета испарения, организация и размещение пунктов стационарных наблюдений над испарением с поверхности суши, определе-

ние направления дальнейших теоретических и экспериментальных исследований испарения.

В настоящее время для определения хода суммарного испарения с поверхности почвы применяются методы почвенных испарителей и лизиметров, водного баланса, теплового баланса, турбулентной диффузии, методы, основанные на связи составляющих теплового и водного баланса, методы расчета испарения по данным метеорологических наблюдений и другие.

В гидрологических расчетах широко применяются эмпирические графики связи испарения с температурой воздуха и осадками Б.В.Полякова; в агрометеорологических расчетах - методика, основанная на связи испарения с осадками и начальными влагозапасами почвы (упрощенный метод водного баланса), в расчетах испарения с болот - упрощенный метод теплового баланса, предложенный В.В.Романовым. В последнее время находит применение новый метод расчета испарения по температуре и влажности воздуха, разработанный А.Р. Константиновым. Этот метод является наиболее обоснованным и совершенным из группы методов расчета суммарного испарения по данным сетевых наблюдений.

Для определения испарения с почвы под растительным покровом применяется метод испарителей. Транспирация растений определяется как разность между суммарным испарением и испарением с почвы под растительным покровом. Другие методы определения транспирации в гидрологических исследованиях не применяются.

Итоги сравнительного изучения методов определения испарения, выполненного ГГИ в 1951 - 1960 гг., и совместных исследований испарения ГГИ и ГГО в 1953 и 1954 гг. показывают, что метод почвенных испарителей и лизиметров является более точным, наиболее экономичным. Он менее ограничен условиями применения, чем другие методы, имеет наибольшую давность и широко используется до настоящего времени как в нашей стране, так и в зарубежных странах. В то же время этот метод вызывает у некоторых специалистов отрицательное отношение к нему ввиду изолирования почвенных монолитов, помещенных в испарители, от окружающей почвы, нарушающего температурный и водный режим почвы.

Рассмотрим основные недостатки метода испарителей, вызывающие замечания в отношении его применения: нарушение температурного и водного режима почвы в испарителях - лизиметрах и вопрос о репрезентативности наблюдений.

В 1949-1953 гг. ГГИ выполнил обширные экспериментальные исследования термического режима почвенных монолитов в испарителях

разных размеров и конструкций. Исследования имели своей целью выяснение влияния металлических стенок испарителей и их размеров на температурный режим почвенных монолитов. Эти исследования проводились в Валдае (ВНИГЛ), в Заволжье (на агрометстанции Елшанка), в Сальской степи (ДНИГЛ) и в Каменной Степи (Каменностепная гидрометеорологическая обсерватория). В Валдае изучалась термика почвенных монолитов в большом гидравлическом испарителе площадью 5 м^2, глубиной 2 м (БГИ); в гидравлическом испарителе малой модели (ГПИ), имеющем размеры: площадь 0,2 м^2, глубину 125 см; в весовых испарителях площадью 0,3, 0,1 и 0,05 м^2, глубиной соответственно 60, 40 и 50 см. Достаточно полно изучался в различных почвенно-климатических условиях термический режим почвенных монолитов, помещенных в испарители площадью 500 см^2, глубиной 50 см (ГГИ-500-50). В Валдае производилось сравнение термики почвенных монолитов в испарителях ГПИ и ГГИ-500, в Заволжье - сравнение термики монолитов в деревянных и металлических испарителях ГГИ-500-50. Во всех пунктах термический режим почвы в испарителях сопоставлялся с термическим режимом окружающей почвы.

Результаты изучения термики почвенных монолитов, помещенных в испарители, показывают:

1. В БГИ температура нижних слоев почвенного монолита в летнее время на 0,2-1,2^0 выше температуры соответственных слоев окружающей почвы. Величины теплоаккумуляции в почвенном монолите БГИ и окружающей почве за отдельные интервалы, сутки и периоды различаются между собой на единицы кал/см^2. Незначительный перегрев почвы в БГИ является следствием переноса тепла металлическими стенками испарителя от поверхности почвы в нижележащие слои почвенного монолита. Заметим, что в естественных условиях значения разностей между температурами почвы на двух рядом расположенных вертикалях, на одних и тех же глубинах, иногда превышают 1,2^0. Это обстоятельство указывает на то, что нарушения температурного режима почвы в БГИ не выходят за пределы естественных колебаний температуры почвы.

2. В испарителях площадью 0,3, 0,2, 0,1 м^2 и 500 см^2 температура поверхности почвенных монолитов вблизи металлических стенок в дневные часы несколько ниже температуры поверхности окружающей почвы; в нижележащих слоях почвенных монолитов имеет место незначительный перегрев почвы. Разность между теплоаккумуляцией в слое почвы 0-35, 0-40 см в металлическом испарителе ГГИ-500-50 и теплоаккумуляцией в том же слое окружающей почвы за

12 часов светлой части суток, по данным наблюдений в Заволжье, изменялась в пределах от -5 до+40 кал/см^2.

3. В деревянных испарителях ГГИ-500-50 температурный режим почвенных монолитов практически не отличается от температурного режима окружающей почвы.

Экспериментальные исследования испарения с парового поля, проведенные ГГИ в Заволжье (на агрометстанции Елшанка) в 1952 г., показали, что величины испарения, измеренные с помощью металлических и деревянных испарителей, оказались одинаковыми.

Общий вывод по термике почвенных испарителей: искажения температурного режима почвы в металлических испарителях являются незначительными и не оказывают существенного влияния на испарение.

Постановка и результаты исследований термики почвенных монолитов в испарителях подробно описаны в работе [3].

ГГИ выполнены также обширные исследования водного режима почвенных монолитов в испарителях. Данные исследований ГГИ показывают, что при смене почвенных монолитов в испарителях ГГИ-500-50 через каждые 15 дней водный режим почвенных монолитов в этих испарителях в относительно сухие периоды не отличается от водного режима окружающей почвы. В дождливое время монолиты в этих испарителях иногда переувлажняются, что указывает на необходимость внеочередной смены монолитов. В испарителях глубиной 100 см и более почвенные монолиты в течение вегетационного периода, как правило, не сменяются. При отсутствии глубокого просачивания воды водный режим почвы в этих испарителях практически не отличается от водного режима окружающей их почвы.

Здесь следует остановиться на критических замечаниях по работе испарителей М.И. Будыко и М.П. Тимофеева [1]. Принимая глубину слоя почвы активного влагообмена равной 100 см и пренебрегая передвижением влаги в глубокие слои почво-грунта, эти авторы, исходя из уравнений водного баланса верхнего полуметрового и метрового слоев почвы, получили формулу для оценки относительных ошибок определения испарения по изменению влагосодержания в слое почвы 0-50 см, а также по испарителям ГГИ-500-50, имеющую вид:

$$\frac{E - E'}{E} = \frac{\Delta W_{50-100}}{\Delta W_{0-100} + X},$$

где E - истинное испарение, E' - испарение, измеренное с по-

мощью испарителей; ΔW_{50-100} и ΔW_{0-100} -изменение влагосодержания слоев почвы соответственно 50-100 и 0-100 см и X - осадки.

Приведенная формула по существу является правильной. Однако в дальнейших расчетах, для характеристики относительных ошибок показаний испарителей ГГИ-500-50, М.И. Будыко и М.П. Тимофеев правую часть этой формулы произвольно заменили отношением изменения влагосодержания в слое почвы 50-100 см к изменению влагосодержания в слое почвы 0-50 см ($\frac{\Delta W_{50-100}}{\Delta W_{0-50}}$), т.е. в знаменателе, вместо изменения влагосодержания в метровом слое почвы, подставили изменение влагосодержания в верхнем полуметровом слое почвы и исключили осадки. Величины отношения $\frac{\Delta W_{50-100}}{\Delta W_{0-50}}$ в процентах, рассчитанные в ГГО по данным гидрометеорологических станций об изменении влагозапасов почвы в степной, лесостепной и лесной зонах, колеблются от 0 до 177%, составляя в среднем 83%. Правильные же величины относительных ошибок определения испарения по данным об изменении влагозапасов почвы, рассчитанные в Отделе гидрофизики ГГИ по указанной выше формуле с использованием тех же материалов, которые привлекались в ГГО, колеблются в пределах от 9 до 18%, составляя в среднем 13% от определяемой величины испарения. Эти величины находятся в пределах точности определения влагозапасов почвы термостатно-весовым методом. Очевидно, отношение изменения влагосодержания в слое почвы 50-100 см к изменению влагосодержания в почве 0-50 см не может служить критерием оценки работы испарителей. Детально этот вопрос рассмотрен в работе [2]. Показания испарителей ГГИ-500 сравнивались с показаниями БГИ и ГПИ, которые могут быть приняты за эталонные приборы, и с данными по испарению, полученными методом водного баланса, при 20-кратной повторности в наблюдениях за влажностью почвы (ДНИГЛ, 1954 г.). Результаты сравнений приведены в табл. 1 и 2.

Весовые испарители позволяют определять величины испарения с точностью 0,5-1,0 мм слоя воды, с относительной ошибкой, не превышающей 10% от измеряемой величины, БГИ - с точностью 0,05-0,01 мм, ГПИ - с точностью 0,1 мм. Гидравлические испарители являются единственными приборами для непосредственного измерения суточного хода испарения. Почвенные испарители площадью 500 $см^2$, высотой 50 и 100 см (ГГИ-500-50 и ГГИ-500-100) и ГПИ приняты в качестве стандартных для сети гидрометеорологических станций.

Таблица I

Величины испарения, полученные с помощью гидравлических и весовых почвенных испарителей, мм

Год	Пункт наблюдений	Испаряющая поверхность	Число дней наблюдений	Испарители			Испарение по ГГИ-500-50 в % от испарения по гидравлическим испарителям
				БГИ	ГШИ	ГГИ-500-50	
I95I	ВНИГЛ	пар	II8	-	I69	I73	I02
I952	ВНИГЛ	луг	I03	2I3	-	225	I06
I952	ДНИГЛ	пар	I29	-	I87	I80	96
I953	ВНИГЛ	луг	I04	24I	-	240	I00
I953	ДНИГЛ	пар	II2	-	82	85	I04
I954	ДНИГЛ	пар	I73	-	224	2I2	95

Таблица 2

Величины испарения, полученные методами почвенных испарителей и водного баланса в I954 г.

Пункт наблюдений	Растительный покров	Число дней наблюдений	Единица измерения	Метод испарителей		Метод водного баланса для слоя почвы 0-I00 см
				ГГИ-500-50	ГГИ-500-I00	
ДНИГЛ	ячмень	50	мм	II9	II8	I30
			%	92	9I	I00
Елшанка	овес	69	мм	-	230	252
			%	-	92	I00
Совхоз "Гигант"	оз.пшеница	50	мм	-	I98	I99
			%	-	I00	I00

В отношении других методов определения испарения необходимо отметить следующее.

Метод водного баланса часто используется для определения испарения в теплый период года в зонах недостаточного увлажнения. Вместе с тем, применение этого метода возможно и в других зонах увлажнения и на орошаемых полях, в случаях отсутствия поверхностного стока, при условии учета просачивания влаги в глубокие слои

почвы с помощью лизиметров. Расчеты сезонных величин испарения, произведенные в Отделе гидрофизики ГГИ методом водного баланса по данным наблюдений гидрометеорологических станций в период МГГ, показали удовлетворительные результаты. Расхождения между сезонными величинами испарения, рассчитанными методом водного баланса, и величинами, полученными с помощью испарителей, не выходят за пределы точности определения влажности почвы. При определении испарения за короткие промежутки времени (декада, месяц) метод водного баланса дает значительные погрешности.

Метод полного теплового баланса является наиболее сложным и дорогим по сравнению с другими методами определения испарения за короткие промежутки времени. В Агрофизическом институте на основе метода теплового баланса разработано устройство для автоматической регистрации хода испарения. Применение метода теплового баланса затруднительно в периоды с малой интенсивностью испарения. Этот метод ввиду его сложности длительное время будет применяться лишь в научных исследованиях.

Метод градиентных наблюдений (турбулентной диффузии) обладает большими случайными и систематическими ошибками. Опыт применения его на сети гидрометеорологических станций не дал положительных результатов.

К группе градиентных методов относится также метод А.А. Скворцова, основанный на законе ярусного влагообмена. Применение градиентных методов требует особой тщательности в определении высот установки приборов, измерении температуры и влажности воздуха в приземном слое атмосферы, а также повышенной повторности в наблюдениях.

Расчетные методы теплового баланса и градиентных наблюдений имеют значительно больше ограничений для их применения, чем метод испарителей и лизиметров. Вследствие этого, а также ввиду значительной трудоемкости расчетных методов и недостаточной их надежности они не могут быть рекомендованы для массовых наблюдений на сети гидрометеорологических станций. Говоря о надежности и применимости методов, мы имеем в виду случайные и систематические ошибки методов и возможность производства непрерывных наблюдений. Очевидно, в настоящее время из существующих методов определения испарения может и должен применяться для стационарных наблюдений над испарением с почвы на сети гидрометстанций метод испарителей и лизиметров.

Ш Всесоюзный гидрологический съезд записал в своих решениях : " Лучшим сетевым методом для измерения испарения с сель-

скохозяйственных полей за сроки 5 и более суток следует считать метод весовых почвенных испарителей, а для определения испарения за короткие сроки следует пользоваться гидравлическими почвенными испарителями малой модели".

Упрощенные методы водного и теплового баланса и методы расчета испарения по данным наблюдений метеорологических станций рассматриваются в других докладах.

Для определения испарения с поверхности значительной площади любым из рассмотренных здесь методов требуется выполнение условия репрезентативности испарительной или метеорологической площадки или наблюдательного участка, данные наблюдений на которых используются в расчетах испарения. Требования в отношении репрезентативности заключаются в том, чтобы наблюдательный участок, на котором ведутся наблюдения, был открытым и характерным для окружающей местности в отношении почвенного и растительного покрова и высотного положения. В таких условиях различные сравниваемые между собой методы определения испарения должны давать близкие результаты. В этом отношении показательны данные наблюдений ВНИИГЛ, полученные на пойменном участке р. Понометь при определениях испарения с заливного луга. В табл. 3 приведены величины испарения, измеренные с помощью испарителей и рассчитанные методом градиентных наблюдений ГГО [4] и методом А. Р. Константиновa по температуре и влажности воздуха, измеренным на высоте 2 м. Таблица показывает, что в сумме за период УП-IX величины испарения по расчетным методам лишь на 4-6% выше измеренных величин. Декадные и месячные величины испарения по расчетным методам близки между собой, но расходятся с измеренными величинами: декадные в среднем на 25-3I%, месячные - на I4-25%. При этом величины испарения с заливного луга по расчетным методам в июле оказались несколько завышенными, а в последующее время (начиная с III декады августа) заниженными в сравнении с измеренными. Объясняется это изменением степени увлажнения почвы на прилегающих участках (пересыхание старицы и понижение уровня грунтовых вод на небольшом заболоченном участке) в некотором удалении от места наблюдений. В июле испарение со старицы, заросшей водной растительностью, и с заболоченного участка было выше, чем с заливного луга, а с конца августа, наоборот, ниже. Эти изменения в соотношениях испарения с названных поверхностей оказали влияние на режим влажности воздуха на площадке наблюдений и на результаты определения испарения расчетными методами. Очевидно, что применение расчетных методов требует особого внимания к выбору места на-

Таблица 3

Измеренные и рассчитанные декадные и месячные величины испарения с заливного луга на пойме р. Полометь в районе д. Камино, I960 г., мм

Месяц	Декада	Метод испарителей	Метод градиентных наблюдений ГГО	Метод А.Р. Константинова (по температуре и влажности воздуха)	Осадки
УП	I	30	28	36	34
	П	33	47	46	2
	Ш	36	43	44	II
	сумма за месяц	99	II8	I26	47
УШ	I	22	I8	24	6
	П	I7	2I	2I	I6
	Ш	I7	6	3	36
	сумма за месяц	56	45	48	58
IX	I	I0	I0	8	57
	П	I2	9	9	9
	Ш	8	I0	5	II
	сумма за месяц	30	29	22	77
	сумма за УП-IX мм	I85	I92	I96	I82
	сумма за УП-IX %	I00	I04	I06	

блюдений. Использование их для определения испарения с относительно небольших площадей и малых водосборов невозможно, так как это приводит к большим ошибкам в определении испарения.

Сопоставление величин испарения, вычисленных методом А.Р. Константинова и измеренных с помощью почвенных испарителей по материалам гидрометеорологических станций, проводивших наблюдения по программе МГГ, показало следующее. Средние квадратичные разности между измеренными и рассчитанными величинами испарения в % по отношению к измеренным составили: для месячных величин 35%, для декадных 47%, для пятидневных 81%. Можно полагать, что столь значительные расхождения вызваны недоста-

точной репрезентативностью метеорологических площадок.

Междуведомственному совещанию необходимо принять решение о развитии стационарных наблюдений над испарением с почвы на сети гидрометеорологических станций. Развитие этих наблюдений необходимо осуществить в первую очередь в районах орошения и осушения и проведения крупных гидротехнических мероприятий, отмеченных в решениях январского Пленума ЦК КПСС. Необходимо выполнить решение III Всесоюзного гидрологического съезда о развитии наблюдений над испарением. Этому вопросу посвящается специальный доклад.

Задачей дальнейших научных работ по проблеме изучения испарения является развитие теоретических, экспериментальных и экспедиционных исследований, направленных на решение следующих вопросов:

I. Усовершенствование существующих и разработка новых методов измерения и расчета испарения.

2. Получение необходимых данных для расчетов водных балансов орошаемых и осушаемых земель и режимов их составляющих в различных климатических, почвенных и гидрогеологических условиях.

3. Исследование водообмена в зоне аэрации на поливных землях, физических и водных свойств почво-грунтов, процессов испарения почвенной влаги и грунтовых вод и режима растворенных солей для усовершенствования и разработки методов борьбы с засолением и заболачиванием почв.

4. Исследование водопотребления и транспирации сельскохозяйственных культур в различных физико-географических условиях; установление оптимальных, для высокой урожайности культур, режимов влажности почвы и разработка рекомендаций по регулированию водного режима для обеспечения оптимального водопотребления различными сельскохозяйственными культурами.

5. Исследование методов и средств уменьшения потерь на испарение с поверхности водоемов и почвы на полях оросительных и осушительных систем.

6. Разработка методических вопросов и техники для оперативного обслуживания сельскохозяйственного производства в условиях орошения и осушения земель.

ЛИТЕРАТУРА

I. Будыко М.И. и Тимофеев М.П. - О методах определения испарения. Метеорология и гидрология, № 9, 1952.

2. Константинов А.Р. и Пушкарев В.Ф. - Об основных направлениях в

изучении испарения с поверхности суши. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т.III, 1959.

3. Пушкарев В.Ф. - Исследование методов наблюдений над испарением с почвы. Труды ГГИ, вып. 45 (99), 1954.

4. Руководство по производству наблюдений над испарением с сельскохозяйственных полей, часть II. Гидрометеоиздат, Л., 1957.

А.С. Конторщиков, канд.геогр.наук
(ЦИП, Москва)

О МЕТОДАХ РАСЧЕТА ИСПАРЕНИЯ И ЗАПАСОВ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ ПРИ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

В практике агрометеорологического обслуживания большое распространение получили методы расчета запасов продуктивной почвенной влаги и испарения с сельскохозяйственных полей, особенно в агрометеорологических прогнозах [13]. С одной стороны, это объясняется недостаточностью и ненадежностью данных непосредственных наблюдений, а с другой - необходимостью оценки ожидаемых условий, чего нельзя сделать без установления закономерностей. Потребность в использовании данных по влажности почвы и испарению с каждым годом возрастает по мере расширения объема и улучшения качества агрометеорологического обслуживания. Повышаются требования к точности расчетов, увеличивается набор культур, по которым ведется обслуживание. Между тем в настоящее время теоретические методы расчета не могут быть использованы в практике либо по причине своей сложности и недостаточной разработанности, либо из-за отсутствия данных, которыми располагает оперативный работник, либо из-за того, что эти методы не дифференцированы для отдельных сельскохозяйственных культур и этапов их развития, определяющих биологические особенности их водопотребления. Однако создание и усовершенствование таких методов является важной задачей на современном этапе науки. В этой связи нам хотелось бы отметить исследования М.И. Будыко [2], А.И. Будаговского [1] и А.Р. Константинова [4].

Запасы продуктивной почвенной влаги на предстоящий период могут быть определены по исходным и прогнозируемым данным двумя путями: 1) по установленным зависимостям изменения запасов влаги от основных факторов и 2) по уравнению водного баланса. Эти возможности широко используются в практике.

Зависимости изменения запасов продуктивной почвенной влаги были установлены С.А. Вериго, С.Б. Мастинской и Л.А.Разумовой [13] для яровых и озимых зерновых культур, трав и картофеля применительно к различным биологическим характерным этапам развития. Изменение запасов влаги определяется в зависимости от средних декадных температур воздуха, исходных запасов влаги и суммы осадков за декаду. Эмпирические уравнения даются не только дифференцированно к различным отрезкам вегетационного периода, но и для

различных слоев почвы, а именно 0-20 см, 0-50 см и 0-100 см, а также отдельно для зоны черноземных и оподзоленных почв при расчетах с полей, занятых яровой пшеницей. Общая структура формул такова:

$$y = at + bx + cW + d,$$

где y - изменение запасов продуктивной влаги в почве соответствующего слоя, t - средняя декадная температура воздуха, x - сумма осадков за декаду, W - начальные запасы влаги, a, b, c и d - эмпирические коэффициенты. Зависимости установлены статистически на большом материале наблюдений и ввиду ограниченного количества учитываемых факторов, влияющих на изменение запасов влаги, дают, естественно, лишь приближенное решение, однако с достаточной для практики точностью. Широко проведенное испытание зависимостей подтверждает справедливость этого. Мы не являемся сторонниками статистического подхода к установлению связей, когда значения эмпирических коэффициентов как по знаку, так и количественно в некоторых случаях трудно, а иногда и совершенно невозможно объяснить. Здесь мы целиком находимся во власти статистики, когда при неоднородности и разнообразии условий, входящих с различной повторяемостью и весом, можем получить статистические решения, искажающие действительность. Однако и таких зависимостей, которые в подавляющем большинстве случаев все же правильно отражают реальные связи и дают практически приемлемые результаты, у нас имеется очень мало при том многообразии культур, по которым приходится вести агрометеорологическое обслуживание. Поэтому установление зависимостей для тех культур, по которым они не имеются, является ближайшей задачей агрометеорологии.

Более физически обоснованным, но менее точным при современной технике наблюдений, является метод водного баланса. В практике обычно применяют упрощенный вид уравнения водного баланса с использованием начальных запасов влаги метрового слоя почвы, суммы осадков за рассматриваемый период и величины испарения за тот же отрезок времени, пренебрегая обычно стоком, конденсацией, просачиванием в нижележащую толщу почвы и некоторыми другими факторами. Обыкновенно метод водного баланса применяют даже за короткие промежутки времени, как, например, декада, которая является основной единицей при агрометеорологическом обслуживании. Для решения этого уравнения относительно изменения запасов влаги необходимо знать величины суммарного испарения, наблюдения над которым стали развиваться лишь в последние годы. К сожалению, данные непосредственных наблюдений величин испарения пока еще не используются в оперативной практике, хотя надо сказать, что они могут быть применены только для оценки и

анализа фактического, а не прогнозируемого положения. Однако в ряде случаев это также является важным.

Точность метода водного баланса достаточно выяснена рядом исследователей, в том числе А.К. Филипповой /16/ и Л.Р. Струзером /15/. Для коротких интервалов времени она не может удовлетворять возросшим требованиям науки и практики. Погрешности возникают по причине малонадежных наблюдений над влажностью почвы в связи, в основном, с пространственной изменчивостью и связанной с этим недостаточностью четырехкратной повторности наблюдений. Несовершенство действующей на сети гидрометстанций методики наблюдений отмечалось многими исследователями, в том числе С.И. Смирновой и С.И. Долговым /14/. В связи с этим в агрогидрологической лаборатории ЦИПа проводятся исследования по существенному улучшению методики наблюдений над влажностью почвы. Оценка точности действующей методики наблюдений в системе Гидрометслужбы дана в работе С.Б. Мастинской /8/. В этой работе показано, что для того чтобы обеспечить для метрового слоя почвы ошибку менее ± I0 мм, необходимо увеличить число четырех повторностей в полтора - два и более раз в зависимости от естественной пестроты влажности почвы в данном пункте. Да и в этом случае обеспеченность точности составит примерно 65-75%. При большей обеспеченности для той же точности наблюдений требуется, как это следует из работы А.К. Филипповой /9/, значительно бо́льшая повторность. Практически, следовательно, для массовой сети станций потребовалось бы увеличение объема работ более чем в два раза, что при существующем объеме и штатах станций не является реальным. Правда, на некоторых специальных станциях повышенное число повторностей можно было бы и ввести.

Другим, с нашей точки зрения более перспективным путем улучшения методики наблюдений над влажностью почвы является так называемый метод характерных скважин. Этот способ предложен С.И. Смирновой и описан в работе С.И. Смирновой и С.И. Долгова /14/. Сущность выбора характерных скважин заключается в следующем: по весенней съемке влажности почвы с увеличенной повторностью наблюдений (число скважин не менее I0) на поле или другом объекте вычисляются средние влагозапасы. По этому среднему влагосодержанию выбирается несколько (3-4) таких скважин, которые индивидуально ближе всего отвечают этому среднему влагосодержанию. Эти скважины отмечаются на местности и в последующие сроки наблюдений над влажностью почвы бурение производится вблизи этих характерных скважин, обычно по диаметру радиусом около 2 м. Такой способ наблюдений увеличивает надежность и точность. Так, например, в

степной зоне Северного Кавказа обеспеченность числа случаев с точностью до ± I0 мм возрастает при этом способе, против обычного, примерно на I0-20%. Если же контрольную съемку для уточнения характерных скважин дополнительно сделать в середине вегетационного периода, то обеспеченность метода с ошибкой ± I0 мм может подняться до I00%. Вначале предполагается внедрение метода характерных скважин начать в степной зоне на гидрометстанциях, привлеченных к агрометеорологическому обслуживанию, с выбором характерных скважин на обычном наблюдательном участке.

Повышение точности определения запасов почвенной влаги может существенно повысить надежность использования уравнения водного баланса за сравнительно короткие промежутки для определения суммарного испарения с сельскохозяйственных полей. Метод характерных скважин с успехом может быть применен для выбора мест установки специальных приборов, и в частности радиоактивного гамма-влагомера М-30-М, внедрение которого начинается в системе Гидрометслужбы.

В связи с недостаточной надежностью метода водного баланса и невозможностью использования его для прогностических целей при определении суммарного испарения с сельскохозяйственных полей за декаду на практике широко применяются расчетные методы.

Большое распространение благодаря своей простоте получил метод Б.В. Полякова [I0]. Как известно, по этому методу величина суммарного испарения за месяц определяется в зависимости от средней месячной температуры воздуха и суммы осадков за этот период. Рядом исследователей выяснена точность этого метода. В частности, А.В. Процеров [II] показал возможность расчета суммарного испарения по графикам Полякова для яровой пшеницы с точностью ± 20% и отметил недостатки графиков. Дополнительно укажем, что "универсальность" графиков, т.е. отсутствие дифференциации для различных испаряющих поверхностей, заведомо создает ненадежность использования их применительно к конкретным полям с сельскохозяйственными культурами, так как известно, что водопотребление различных культур при одних и тех же метеорологических условиях чаще бывает неодинаковым. Это зависит от биологических особенностей водопотребления в различные периоды роста и развития растений.

Но основным недостатком графиков Полякова является отсутствие количественного учета влажности почвы. В настоящее время можно считать общепризнанным существенное влияние влажности почвы на величину испарения. Правда, косвенный учет влажности почвы в схеме Полякова находит отражение в том, что расчетные графики составлены отдельно для различных месяцев. Однако при расчетах за конкретные

годы влажность почвы одних и тех же месяцев может резко отличаться друг от друга. Поэтому графики сравнительно надежно могут быть использованы для определения испарения за месяц конкретного года только при влажностях почвы, близких к той, для которой составлен данный график.

В нашей работе [7] показано, что в отдельных случаях недоучет этого фактора может дать расхождение расчетных величин испарения по сравнению с фактическими на 200-300%. В этом легко убедиться, если рассчитать испарение за месяц при небольшом количестве осадков (при отсутствии осадков графики не позволяют производить расчеты) и при одной и той же средней месячной температуре для случая, когда запасы продуктивной влаги в метровом слое практически отсутствуют, и для случая, когда почва увлажнена до полевой влагоемкости. По графикам получим одну и ту же величину испарения, хотя практически в первом случае оно будет ничтожно, а во втором может составить значительную величину, тем более, если расчет производится для поля, занятого сельскохозяйственной культурой.

Как только нами [7] был введен количественный учет влажности почвы, необходимость в четырех графиках Полякова отпала. Таким образом, расчет испарения за месяц может быть произведен по вновь построенному одному графику [7] на основе данных о начальных запасах влаги в почве, средней месячной температуре и сумме осадков за месяц. Применительно к яровой пшенице в различные отрезки вегетационного периода должны быть введены соответствующие поправки, значение и обоснование которых содержатся в нашей работе [5].

При оперативном обслуживании необходимы расчеты не за месяц, а за декаду, что потребовало дополнительных исследований и построения графиков для этого интервала. Применительно к трем отрезкам вегетационного периода (от посева до выхода в трубку, от выхода в трубку до цветения и от цветения до конца вегетации) были построены три соответствующих графика [6]. Суммарное испарение по ним для яровой пшеницы определяется в зависимости от запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы на начало декады, от средней температуры воздуха и суммы осадков за декаду.

Эти три графика были проверены в 23 управлениях Гидрометеорологической службы как на Европейской, так и на Азиатской территории нашей страны. Обобщение произведено методической группой Отдела агрометпрогнозов и информации ЦИПа. В табл. I приведены итоги проверки метода расчета запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы по упрощенному уравнению водного баланса с ис-

Таблица I

Повторяемость числа случаев отклонения расчетных запасов влаги в почве от фактических под яровыми культурами, %

УГМС	Период от посева до выхода в трубку		Период от выхода в трубку до цветения		Период от цветения до конца вегетации	
	число декад	обеспеченность метода в пределах допустимой ошибки	число декад	обеспеченность метода в пределах допустимой ошибки	число декад	обеспеченность метода в пределах допустимой ошибки
Северо-Западное	74	89	66	92	80	89
Литовской ССР	I94	92	I36	89	I28	87
Белорусской ССР	I45	92	II5	84	I45	7I
Верхне-Волжское	304	94	20I	83	297	80
Центральных областей	I23	99	96	96	II9	9I
Уральское:						
северная зона	I69	94	III	8I	I45	77
южная зона	I39	8I	89	8I	II4	74
Центр.-Черноземн.обл.	3I3	97	I88	86	243	72
Приволжское:						
лесостепь	274	9I	I45	8I	I98	72
степь	I62	9I	I22	67	I28	7I
Украинской ССР	47	94	28	72	33	70
Молдавской ССР	256	89	I49	83	I26	7I
Северо-Кавказское	350	93	2I3	76	225	74
Грузинской ССР	-	-	II	86	II	I00
Омское:						
северная зона	207	95	I58	82	I99	7I
южная зона	2I0	82	I77	82	I90	79
Западно-Сибирское	354	80	225	80	229	68
Казахской ССР	276	8I	I8I	75	I96	68
Киргизской ССР	49	I00	2I	95	32	8I
Узбекской ССР	428	86	I68	69	I48	57
Красноярское	302	87	209	78	246	70
Иркутское	I04	89	80	89	I00	78
Забайкальское	I82	85	I48	76	263	76
Дальнего Востока	44	92	54	85	6I	82
Приморское	49	94	37	92	44	93
Сахалинское	I6	I00	20	95	I4	I00

пользованием исходных запасов влаги, средней декадной температуры воздуха и осадков за декаду, с последующим вычислением суммарного испарения по графикам.

За критерий допустимой ошибки для различных почвенно-климатических условий было принято ± 20% от средних многолетних запасов продуктивной влаги в метровом слое для данных отрезков вегетационного периода яровой пшеницы. Как видно из таблицы, обеспеченность таких расчетов почти повсюду составляет более 60-80% , причем бо́льшая точность расчетов получается для первого графика, составляя преимущественно более 90%. Расхождение расчетных и фактических запасов влаги в абсолютном значении более ± 20 мм составляет, как правило, не более 20%. Все это говорит о возможности использования графиков для расчета запасов продуктивной влаги по упрощенному уравнению водного баланса в пределах всей территории страны, где обычно может произрастать яровая пшеница.

При проверке, кроме того, выявилось, что графики могут быть использованы и для расчета с полей, занятых яровым ячменем и овсом.

Анализ материалов показал, что в отдельных случаях при переходе в расчетах от одного графика к другому наблюдаются некоторые "скачки", вызванные разбивкой графиков на довольно крупные вышеуказанные отрезки вегетационного периода. Это в смежных декадах понижает точность расчетов. Чтобы избежать такой дополнительной ошибки, были построены 9 графиков (рис. I) для каждой декады вегетационного периода.

Проверка также показала, что в случае больших сумм осадков за декаду (более 50-60 мм) требуется в большинстве случаев поправка на сток. Вопрос стока осадков на сельскохозяйственных полях в агрометеорологии разработан весьма слабо , поэтому используются весьма приближенные показатели [3,12]. Многочисленные материалы проверки позволяют дать приближенную оценку возможных величин стока и установить примерные поправки на сток в зависимости от суммы осадков в различные периоды вегетации яровой пшеницы. В зависимости , видимо, от местоположения полей более чем в I/3 случаев наблюдался и приток влаги, вызывая дополнительное увеличение запасов влаги в почве. Приближенные значения величины стока или притока $(У)$ можно установить, используя уравнение водного баланса

$$У \approx W_1 + X - Z - W_2 ,$$

где W_1 и W_2 - запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в начале и в конце декады, X - сумма осадков за декаду, а Z - суммарное испарение, рассчитанное по графикам.

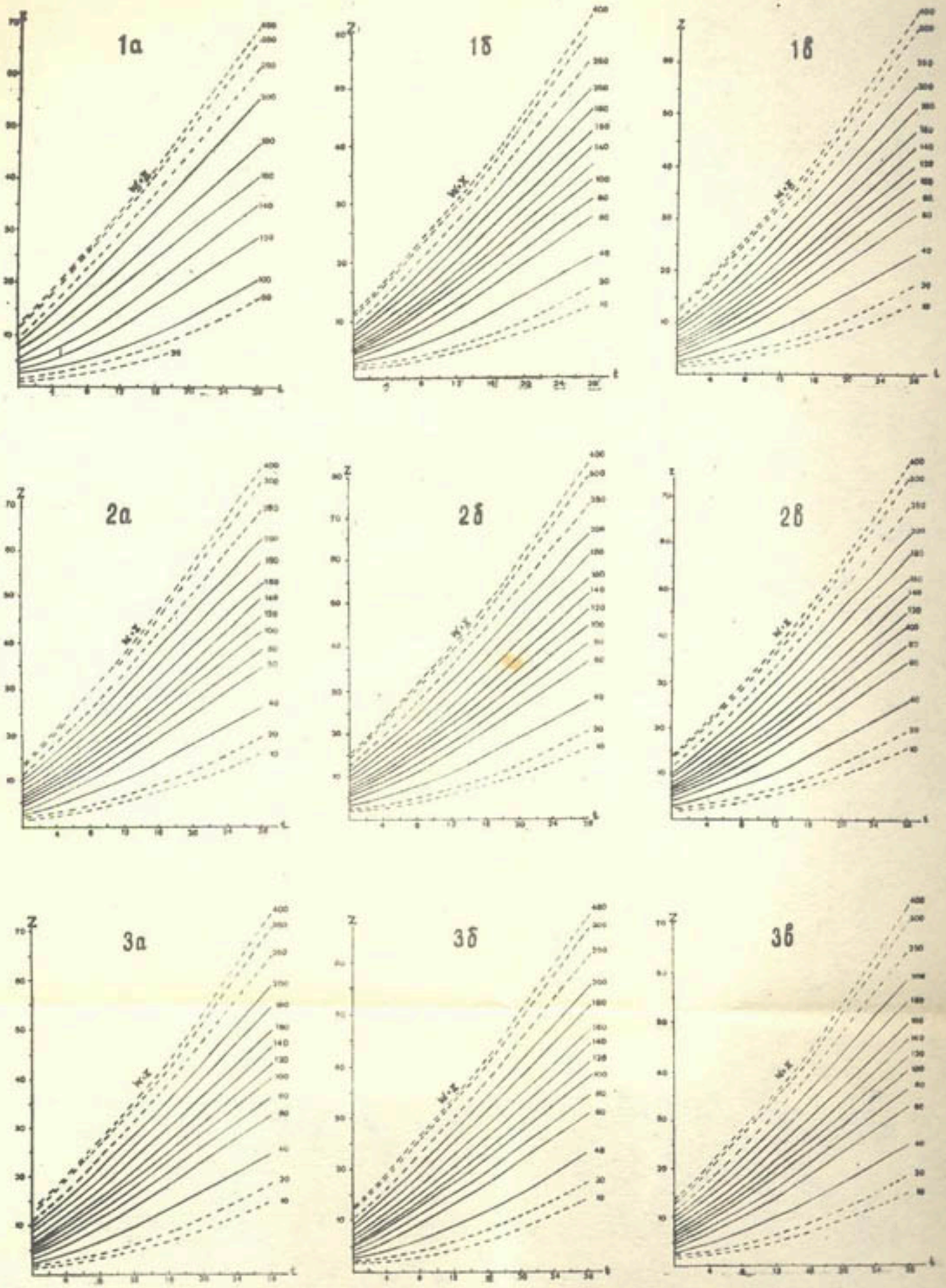


Рис. I. График расчета суммарного испарения на полях с яровой пшеницей по декадам: Iа - в декады от посева до всходов, Iб - в первую декаду после всходов, Iв - во вторую декаду после всходов, 2а - в первую декаду после выхода в трубку, 2б - во вторую декаду после выхода в трубку, 2в - в третью декаду после выхода в трубку, 3а - в первую декаду после цветения, 3б - во вторую декаду после цветения, 3в - в третью декаду после цветения до восковой спелости. Z - суммарное испарение за декаду в мм, t - средняя декадная температура воздуха в град., W_1 - запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы и X - осадки за декаду в мм.

для 76 декад, когда при осадках выше 50 мм имел место сток, в период от посева до выхода в трубку яровой пшеницы средний коэффициент стока составил 0,38; для периода от выхода в трубку до цветения - 0,37, в среднем из 120 декад, и для периода от цветения до конца вегетации - 0,36, в среднем из 180 декад. Разумеется, что если бы в расчет включить все случаи как стока, так и притока, то средние значения коэффициента стока были бы существенно ниже. Кроме того, некоторое завышение коэффициента стока могло получиться за счет неучета задерживаемых осадков растениями яровой пшеницы. Следовало бы так же дать дифференциацию величин стока по почвенно-климатическим зонам. Поэтому полученные величины нужно рассматривать как предварительные, подлежащие уточнению в последующем. Тем не менее для полей с благоприятным для стока расположением эти данные могут быть использованы для некоторого уточнения расчетов запасов влаги по уравнению водного баланса при значительных суммах осадков за декаду.

Обычно применяемая многими исследователями методика установления зависимостей суммарного испарения от агрометеорологических факторов требует наличия большого и многолетнего материала наблюдений. Вследствие этого такие зависимости установлены пока только для нескольких культур. Между тем для многих из них, в том числе и для основных, такие закономерности отсутствуют. Возможно, более быстрым путем можно будет получать связи

$$\frac{Z}{E_0} \text{ с величиной } \frac{W+X}{W_{нпв}},$$

где Z - суммарное испарение на поле с исследуемой культурой, E_0 - испаряемость, рассчитанная по одному из многих способов, W - запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на поле с данной культурой в начале декады, X - сумма осадков за декаду и $W_{нпв}$ - наименьшая полевая влагоемкость для данного типа почвы.

Введение осадков позволит применять зависимость в прогностических целях, а использование наименьшей полевой влагоемкости даст возможность учесть различие в механическом составе почвы и отчетливее выявить значения критических влажностей почвы. Такие зависимости целесообразнее строить в графической форме применительно к различным фазам развития растений, приближенно принимая для суглинистых почв среднее значение наименьшей полевой влагоемкости, равное 180 мм, для супесчаных почв-160 мм и для песчаных-100 мм [13].

При наличии непосредственных надежных наблюдений за суммарным испарением для различных культур построение таких связей значительно облегчится. Поэтому расширение наблюдений над испарени-

ем с сельскохозяйственных полей может способствовать ускоренному установлению таких приближенных зависимостей, которые могут быть получены применительно к разнообразным конкретным почвенно-климатическим условиям.

ЛИТЕРАТУРА

I. Будаговский А.И. - Испарение с поверхности растительного покрова. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т. III. Гидрометеоиздат, Л., 1959.

2. Будыко М.И. - Тепловой баланс земной поверхности. Гидрометеоиздат, Л., 1956.

3. Зубарев Н.А. - Методика оценки агрометеорологических условий формирования урожая сельскохозяйственных культур (путем оценки аномалий). Труды ЦИП, вып. 88, 1959.

4. Константинов А.Р. - Основы методики расчета испарения с почвы по данным метеорологических станций. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т. III. Гидрометеоиздат, Л., 1959.

5. Конторщиков А.С. - Агрометеорологическая оценка условий формирования урожая сельскохозяйственных культур на примере яровой пшеницы. Труды ЦИП, вып. 53, 1957.

6. Конторщиков А.С. - Агрометеорологическая оценка и прогноз условий формирования урожая яровой пшеницы при оперативном обслуживании сельского хозяйства. Труды ЦИП, вып. 72, 1958.

7. Конторщиков А.С. - О расчете испарения с почвы. Метеорология и гидрология, № 4, 1954.

8. Мастинская С.Б. - К уточнению методики определения влажности почвы в различных почвенно-климатических зонах. Труды ЦИП, вып. 88, 1959.

9. Методические указания управлениям Гидрометслужбы, № 52 /ГГИ/ - Организация и производство наблюдений над влажностью почво-грунта на малых водосборах стоковых станций. Гидрометеоиздат, Л., 1959.

10. Поляков Б.В. - Изменение влажности почв и прогноз их просыхания. Труды ЦИП, вып. 4 (31) , 1947.

11. Процеров А.В. - К вопросу расчета суммарного испарения по графикам Б.В. Полякова. Метеорология и гидрология, № 8, 1951.

I2. Процеров А.В.-Методическое пособие по составлению декадных агрометеорологических бюллетеней. Гидрометеоиздат, М., 1959.

I3. Сборник методических указаний по анализу и оценке сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий.Гидрометеоиздат, Л., 1957.

I4. Смирнова С.И.и Долгов С.И.-Репрезентативность наблюдений над влажностью почвы в условиях Предкавказской степной провинции. Труды ЦИП, вып. I07,1961.

I5. Струзер Л.Р.-Оценка погрешности существующих методов определения испарения с почвы. Труды Ш Всесоюзного гидрологического съезда,т.Ш, Гидрометеоиздат, Л., 1959.

I6. Филиппова А.К.-Определение испарения с почвы методом водного баланса. Труды ГГИ, вып. 48 (I02), 1955.

А.И. Будаговский, канд.техн.наук
(Ин-т географии АН СССР, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ

I. Испарение - важнейшая компонента водного баланса почвы, поэтому ее определение необходимо для решения многих практических задач. Однако величина испарения отличается чрезвычайно значительной изменчивостью в пространстве и времени. Вследствие этого даже самая густая наблюдательная сеть не в состоянии дать представление о величинах испарения с различных поверхностей при различных метеорологических условиях, поэтому возникает необходимость в построении интерполяционных зависимостей и расчетных формул, на оснований которых по сравнительно непродолжительным наблюдениям в ограниченном числе пунктов можно определить величину испарения с разных поверхностей за любые отрезки времени. Наконец, особое практическое значение принадлежит разработке методов регулирования естественного испарения, направленных, главным образом, на уменьшение его величины и сбережение запасов почвенной влаги.

Для измерения величин испарения, построения интерполяционных зависимостей и расчетных формул, а также для разработки методов регулирования естественного испарения необходимо располагать теорией этого процесса или, по крайней мере, иметь достаточно четкие представления о его физической сущности. Можно было бы привести большое количество примеров, свидетельствующих о том, что чисто эмпирический подход к решению перечисленных практических задач требует не только большого труда и времени, но и часто приводит к неправильным результатам и выводам.

Однако построение теории испарения связано с исключительно большими трудностями. Они обусловлены прежде всего тем, что величина испарения определяется процессами, происходящими в атмосфере, почве и растении (при наличии растительного покрова). Перечисленные три среды совершенно различны по своему характеру. Они изучаются несколькими науками, недостаточно тесно связанными между собой, находящимися на различных уровнях развития и использующими различные методы исследований. Поэтому в настоящее время можно ставить вопрос лишь о построении физической схемы процесса испарения, раскрытии его сущности с тем, чтобы использовать полученные результаты для решения перечисленных выше практических задач. Одновременно такая схема должна явиться основой для построения теории испарения, в которой все физические закономерности этого

процесса формулируются в виде точных уравнений, а также разрабатываются методы их решения. В отличие от теории испарения, при построении схемы этого процесса для количественного выражения присущих ему физических закономерностей широко используются не только полуэмпирические зависимости, но частично и чисто эмпирические построения.

2. К настоящему времени достаточно хорошо разработана кинетическая теория испарения, вскрывающая физическую сущность перехода воды из жидкого в парообразное состояние /3,18/. Основные выводы этой теории сводятся, во-первых, к тому, что на испарение определенного количества воды расходуется строго определенное количество тепла, равное скрытой теплоте парообразования, во-вторых, к тому, что интенсивность этого процесса зависит от скорости оттока водяного пара от испаряющей поверхности в атмосферу.

В результате процесс испарения оказывается возможным описать с помощью уравнения теплового баланса, а также уравнений теплообмена и влагообмена между испаряющей поверхностью и атмосферой. Поскольку непосредственно над водной поверхностью или достаточно увлажненной почвой упругость водяных паров практически равна максимальной, указанную выше систему уравнений можно замкнуть, присоединив к ней формулу Магнуса.

В связи с тем, что формула Магнуса имеет вид сложной показательной функции, указанная система уравнений не решается относительно величины испарения. Однако эта трудность преодолевается путем применения одного из приближенных методов решения. В частности, разложение зависимости упругости водяных паров от температуры в степенной ряд позволяет получить довольно простую формулу для определения испарения при достаточном увлажнении почвы. Если ограничиться двумя первыми членами разложения, то при атмосферном давлении, равном 1000 мб, после простых преобразований найдем:

$$E_0 = \frac{1{,}56\,\varphi'(R-B)+0{,}027\,Dd}{1{,}56\,\varphi'+1} \qquad (I)$$

Здесь E_0 – испарение, φ' – производная от максимальной упругости водяных паров по температуре при $T = T_2$ (T_2 – температура воздуха на высоте 2 м), R – радиационный баланс, B – теплообмен в почве, D – коэффициент, характеризующий интенсивность теплообмена и влагообмена между испаряющей поверхностью и атмосферой, d – дефицит влажности воздуха на высоте 2 м.

Входящая в формулу (I) величина D в настоящее время может быть определена лишь на основе эмпирических зависимостей. Нужно, однако, заметить, что при достаточно больших значениях ра-

диационного баланса ошибка в определении величин D оказывает очень несущественное влияние на ошибку вычислений по формуле (I).

Испарение, определенное путем совместного решения указанных выше уравнений и, в частности, по формуле (I), при данных метеорологических условиях и достаточном увлажнении почвы является максимально возможной величиной и поэтому ее целесообразно назвать испаряемостью. Поскольку испаряющие поверхности обладают различными радиационными свойствами, то они, естественно, будут при одних и тех же метеорологических условиях иметь и различную испаряемость. Поэтому выбор водной поверхности в качестве стандарта для определения испаряемости в принципе неверен.

В тех случаях, когда фактическое увлажнение испаряющей поверхности ниже достаточного, происходит изменение радиационного баланса, температуры и влажности воздуха.Поэтому испаряемость, подсчитанная при таких условиях по формуле (I), может существенно отличаться от фактического испарения при достаточном увлажнении почвы. Однако методика учета поправок на изменение радиационного баланса, температуры и влажности воздуха в настоящее время разработана удовлетворительно, поэтому расчет испаряемости для любой недостаточно увлажненной поверхности не представляет принципиальных затруднений. Кроме того, испаряемость, подсчитываемая по формуле (I), при недостаточном увлажнении испаряющей поверхности,хотя и является условной величиной, но представляет все же значительный интерес, поскольку она входит в полуэмпирические и теоретические зависимости, учитывающие влияние увлажнения на фактическое испарение.

3.На первом этапе исследований оказалась весьма плодотворной идея о представлении фактического испарения в виде произведения испаряемости на некоторую функцию, зависящую от влажности,некоторых водно-физических свойств почвы, характера и фазы развития растительного покрова. Эта функция определяется эмпирическим путем по данным фактических наблюдений за испарением. Указанная идея была частично использована в Англии Пенманом в 1948 г., в СССР - М.И. Будыко [9], А.И. Будаговским [5,8] и др.Особо следует упомянуть результаты исследований А.М. Алпатьева [2], который показал,что отношение испарения к испаряемости изменяется в течение вегетационного периода.График изменения этого отношения во времени был им назван "биологической кривой" потребления воды растением. Характер графика объяснялся Алпатьевым влиянием только биологических факторов.Исследования А.М.Алпатьева получили развитие в ряде работ других авторов.В частности,А.И.Будаговским [5,8]

была дана качественная физическая трактовка "биологической кривой" испарения.

Возможности использования указанной выше идеи далеко не исчерпаны, но все же ограничены. Ее дальнейшее развитие связано с переходом к следующему этапу исследований, заключающемуся в изучении процессов, происходящих в почве и растении при испарении ими влаги.

На этой основе может быть построена физическая схема двух возможных случаев испарения с поверхности суши: I) испарения воды почвой, лишенной растительного покрова; 2) суммарного испарения с почвы, в котором наиболее существенная роль принадлежит транспирации.

4. Качественная схема испарения воды почвой, лишенной растительного покрова, была предложена П.С.Коссовичем /I2/ еще в I904 г. и с тех пор не подвергалась существенному уточнению. Однако сложившиеся к настоящему времени представления об испарении свидетельствуют о недостаточности этой схемы и необходимости ее пересмотра. Наиболее существенные результаты можно было бы получить путем разработки теории испарения воды почвой. Это связано с составлением и решением следующей замкнутой системы уравнений:

I) уравнения теплопроводности почвы,
2) уравнения влагопроводности почвы,
3) уравнения теплообмена и влагообмена поверхности почвы с атмосферой.

Однако составление уравнения влагопроводности к настоящему времени еще не завершено и в этом направлении предстоит провести еще очень значительные исследования. Кроме того, решение указанной системы уравнений неизбежно окажется весьма сложным. Поэтому его можно будет использовать лишь для анализа процесса испарения и обоснования принятия возможных упрощающих допущений. Но эту работу можно, по крайней мере в первом приближении, выполнить на основе фактических данных о поле температур и влажности почвы. При этом в первую очередь необходимо выяснить, сколь велика мощность слоя почвы, в котором наблюдается совместное движение воды и водяного пара.

Принципы методики раздельного определения плотности потоков воды и водяного пара в почве изложены в другой работе /I/. Приложение ее к обработке результатов опытов М.М.Абрамовой /I/ привело к выводу, что парообразование происходит в довольно тонком слое почвы. Поэтому для составления схемы процесса испарения воды почвой возможно принятие упрощающего допущения, согласно которому через образующийся в результате этого процесса просохший слой вода дви-

жется только в парообразном состоянии, а к нижней его границе - только в жидком виде. После этого решение уравнения теплового баланса просохшего слоя почвы совместно с уравнениями влагообмена и теплообмена поверхности почвы с атмосферой, а также уравнением, выражающим плотность потока водяного пара через просохший слой почвы, приводит к результату:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{1 + \beta D Z_n} \qquad (2)$$

Здесь E_0 - испаряемость, определяемая по формуле (I), Z_n - высота просохшего слоя почвы, а через β обозначено выражение, в которое входят величины коэффициента диффузии водяного пара, коэффициента теплопроводности просохшего слоя почвы, скрытая теплота испарения и ряд других постоянных величин.

Уравнение водного баланса просохшего слоя почвы можно записать в виде:

$$Z_n = \frac{1}{\rho \Delta W} \int_0^t (E - Q)\, dt \quad . \qquad (3)$$

Здесь ρ - плотность воды, ΔW - разность между начальной влажностью почвы и установившейся влажностью просохшего слоя, Q - скорость притока воды к нижней границе просохшего слоя почвы.

Использование уравнений (2) и (3) не исключает необходимости построения теории движения воды в почве, поскольку во второе из них входит величина Q. Однако решение уравнения влагопроводности почвы, во-первых, значительно проще решения указанной выше системы уравнений, а, во-вторых, в настоящее время до создания такой теории во многих случаях возможно использование простейших полуэмпирических и эмпирических зависимостей для определения величины Q. При этом следует отметить, что для большинства природных зон СССР - степной, лесостепной и частично лесной - роль притока воды к нижней поверхности просохшего слоя почвы не играет особо существенного значения в испарении.

Если интеграл (3) вычислять по приближенному способу трапеций, то из совместного решения (2) и (3) можно получить довольно простую расчетную зависимость. Выполненные расчеты и анализ их показывают, что в указанных выше зонах основная роль в испарении воды почвой принадлежит осадкам, выпадающим в летний период. При этом бóльшая часть их задерживается непосредственно просохшим слоем, а меньшая часть, увлажняя верхние слои почвы, увеличивает скорость притока воды к просохшему слою в первые дни после выпадения обильных дождей. По сравнению с испарением летних осадков на долю расходования начальных (весенних) запа-

сов почвенной влаги приходится значительно меньшая часть в общем количестве испаряющейся влаги. Это позволяет для условий степной, лесостепной и отчасти лесной зон построить сравнительно простые расчетные зависимости испарения воды почвой. Главное место в них отводится статистическим характеристикам распределения осадков и испаряемости, а также корреляционной связи между ними.

5. Транспирация является процессом биофизическим, поэтому разработка количественной теории этого процесса сопряжена с особыми трудностями. На основе качественных представлений о транспирации, развитых физиологами, можно написать приближенное уравнение для скорости притока воды к паренхимным клеткам листа, а также уравнение для скорости оттока водяного пара от поверхности этих клеток в атмосферу. Указанные два уравнения содержат три неизвестных величины: транспирацию, так называемую "сосущую силу" листьев и коэффициент, характеризующий интенсивность обмена водяного пара между паренхимными клетками листа и его поверхностью. Следовательно, для того чтобы замкнуть систему указанных уравнений, необходимо получить зависимость между двумя последними величинами. Имеющиеся представления о механизме регулирования транспирации недостаточны для составления такой зависимости, а необходимые экспериментальные данные отсутствуют вследствие слабого внедрения геофизических методов исследования в биологию.

Анализ двух имеющихся уравнений и соображения размерностей позволяют сделать два вывода. Первый из них заключается в том, что транспирация должна находиться в линейной зависимости от испаряемости. Согласно второму выводу, отношение транспирации к испаряемости зависит от влажности почвы, а также от характера и состояния растений.

Для проверки полученных выводов о характере связи транспирации с испаряемостью можно пользоваться материалами наблюдений за испарением с поверхности растительного покрова, поскольку испарение с почвы под растительным покровом в этих условиях несущественно.

Все исходные данные, необходимые для расчета испаряемости, за исключением коэффициента D, можно получить путем непосредственных измерений. Если же ограничиться случаем достаточного увлажнения почвы, при котором градиенты температуры в приземном слое воздуха, как правило, невелики, то для указанного коэффициента можно воспользоваться простейшей зависимостью:

$$D = \lambda U \quad , \quad (4)$$

где U - скорость ветра, α - безразмерный параметр, зависящий от шероховатости испаряющей поверхности и высоты, на которой измеряется скорость ветра.

Обозначая далее отношение транспирации к испаряемости через a и внося уравнение (4) в (I), можем преобразовать последнее к виду:

$$y = \frac{1}{a} - 0{,}027\alpha x \,. \qquad (5)$$

Здесь приняты обозначения :

$$y = \frac{1{,}56\varphi'(R-B)}{(1{,}56\varphi'+1)E} \quad ; \qquad x = \frac{ud}{(1{,}56\varphi'+1)E} \,.$$

Поскольку все величины, входящие в уравнение (5), известны, определение параметров a и α не представляет никаких затруднений. Наибольшей простотой и наглядностью обладает графический способ определения этих параметров, при котором по оси ординат откладываются величины y, а по оси абсцисс - x. Подобные построения были проведены для озимой пшеницы, сахарной свеклы, люцерны, хлопчатника и риса. Во всех указанных случаях, отвечавших достаточному увлажнению почвы и нормально вегетирующему растительному покрову (до начала созревания), параметр a изменялся от I,I0 до I,I5, а параметр α - от 0,22 до 0,30. Если учесть сделанное ранее замечание о несущественной роли ошибки определения коэффициента D для расчета испаряемости, то можно воспользоваться средним значением параметра α.

К настоящему времени накоплен достаточно обширный фактический материал по испарению, который был использован для проверки полученных ранее выводов о линейном характере связи между транспирацией и испаряемостью. Результаты этой проверки дают возможность записать зависимость между этими величинами в виде:

$$E = aE_0 \,. \qquad (6)$$

Заметное превышение параметром a единицы вначале мы объясняли влиянием температурной неоднородности растительного покрова, в связи с которой при осреднении необходимо введение поправки в величину максимальной упругости водяных паров, аналогичную по смыслу известной поправке Ольдекопа. Однако последующие подсчеты показали, что вследствие введения такой поправки параметр a может лишь очень несущественно превышать единицу (на 0,02-0,03, в исключительных случаях на 0,05). С другой стороны, значительное превышение параметром a единицы нельзя объяснить неточностью исходных данных, связанной со случайными ошибками измерений. Поэтому причины, в силу которых a существенно превышает единицу, следует искать в том, что уравнение (I), составленное для сплошной

поверхности, не дает достаточно точного представления об испаряемости с растительного покрова. В последнем случае следует рассматривать деятельный слой, внутри которого происходит поглощение солнечной радиации, а также теплообмен и влагообмен.

Напомним, что второй вывод, вытекающий из анализа указанных выше уравнений, описывающих скорость притока воды к паренхимным клеткам листа и их влагообмена с атмосферой, заключается в наличии зависимости отношения транспирации к испаряемости от влажности почвы. Первые данные, свидетельствующие о наличии такой зависимости, были получены З.А. Кокиной [11], Н.В.Лобановым [13], а позднее С.И. Долговым [10]. Однако они не были ими обобщены, а первым из указанных авторов, вследствие методической ошибки, были сделаны некоторые неверные выводы. К настоящему времени результаты этих опытов обобщены и частично опубликованы в печати [4]. Помимо этого, за последние годы рядом авторов были получены аналогичные зависимости, построенные на основе постановки полевых экспериментальных исследований и обработки массовых материалов наблюдений за испарением и влажностью почвы [4, 5, 15, 17].

Во всех случаях отношение транспирации к испаряемости находилось в линейной зависимости от влажности почвы. Такой характер зависимости сохранялся до некоторого критического значения влажности почвы. Следовательно, можем написать:

$$\frac{E}{\alpha E_0} = b(W - W_0) \quad , \qquad (7)$$

где W - влажность почвы, W_0 - влажность завядания , b - параметр, равный единице, деленной на разность $(W_к - W_0)$, в которой $W_к$ - критическая влажность почвы. Переход от зависимости (7) к зависимости (6) происходит очень быстро, поэтому без существенной погрешности можно принять, что при $W \leq W_к$ справедлива первая из них, а при $W > W_к$ - вторая. Наличие критической влажности почвы и довольно резкий переход от зависимости (6) к(7) находит достаточно убедительные объяснения в характере изменения так называемой "сосущей силы" почвы от ее влажности.

Накопленные к настоящему времени материалы указывают на то, что при сомкнутом растительном покрове разность $W_к - W_0$ изменяется в очень узких пределах и поэтому ее можно принять практически постоянной, в среднем равной 10% от объема почвы [8]. Однако для почв очень легкого механического состава (песчаные, а возможно и супесчаные), а также для растений с ярко выраженным ксероморфным строением разность $(W_к - W_0)$ может оказаться заметно меньше указанной выше величины.

Определение критической влажности почвы в полевых условиях сопряжено с очень значительной затратой труда и времени. В лабораторных же условиях такие опыты могут быть проведены достаточно быстро при широком наборе почв различного механического состава и с различными растениями. Практическое значение такой работы не исчерпывается ее важностью с точки зрения построения расчетных зависимостей для определения испарения. Имеются все основания утверждать, что критическая влажность почвы является в то же время нижним пределом ее оптимальной влажности. При дальнейшем снижении влажности почвы, в зависимости от величин испаряемости, температуры воздуха и скорости ветра, растения начинают ощущать недостаток влаги, приводящий к их угнетению, снижению урожая и даже гибели. Поэтому указанные опыты представляют также весьма значительный интерес для оценки влагообеспеченности сельскохозяйственных культур в условиях орошаемого и неорошаемого земледелия.

6. Испарение воды почвой, лишенной растительного покрова, только непосредственно после выпадения дождей или поливов достигает испаряемости. В остальное же время отношение испарения к испаряемости в обычных условиях не превышает 0,20-0,40, даже при влажности почвы, существенно превосходящей критическую. Исключения наблюдаются лишь в случаях весьма неглубокого залегания грунтовых вод и хорошей водопроводимости почвы или при очень низкой испаряемости. При таких же условиях увлажнения транспирация нормально вегетирующего сомкнутого растительного покрова равна испаряемости или даже несколько превосходит ее. Поэтому после появления всходов по мере увеличения растительной массы возрастает величина отношения суммарного испарения к испаряемости. В этом и заключается причина, в силу которой наблюдается зависимость между суммарным испарением и растительной массой.

Очевидно, что смыкание растительного покрова, а следовательно, и увеличение доли транспирации в суммарном испарении происходит постепенно, по мере увеличения площади листьев. Поэтому необходимо выяснить характер связи между площадью листьев и транспирацией.

В первом приближении отношение транспирации к испаряемости можно выразить через отношение прямой радиации, поглощенной растительным покровом, к общему ее количеству. Последнее отношение можно представить в виде:

$$\frac{q}{q_0} = 1 - e^{-\eta w} \qquad (8)$$

Здесь q - прямая радиация, поглощаемая листьями, q_0 - прямая радиация, поступающая на поверхность, ω - площадь листьев, приходящаяся на единицу площади посева, η - коэффициент пропорциональности.

Уравнение (8) может быть обосновано путем применения закона поглощения света в мутных средах. Однако и без проведения такой аналогии уравнение (8) вытекает из выводов, основанных на применении закона Пуассона к определению вероятности затенения поверхности почвы листьями растений.

На основе определений отношения $\frac{q}{q_0}$, проведенных нами совместно с С.С. Савиной по методу, предложенному Е.А. Лопухиным [14], а также обработки фотометрических наблюдений А.А. Ничипоровича и С.И.Чморы [16] было проверено уравнение (8) и получено значение коэффициента η. Последний для разных растений изменялся от 0,50 до 0,60. При таком значении η и даже сравнительно небольших ω отношение $\frac{q}{q_0}$ довольно быстро приближается к единице. Однако, приближение к единице отношения транспирации к испаряемости должно происходить еще быстрее. В самом деле, если испарение воды почвой мало, то остальная часть поглощаемой ею радиации будет расходоваться на теплообмен с воздухом внутри растительного покрова. Это приведет к повышению температуры воздуха в растительном покрове, вследствие чего возрастет транспирация. В результате, если отношение транспирации к испаряемости представить уравнением, аналогичным (8), то значение коэффициента η будет уже существенно больше приведенных выше. Поэтому в естественных условиях при влажности почвы не ниже критической и сравнительно негустом растительном покрове транспирация, а следовательно, и суммарное испарение оказываются равными испаряемости. Линейная связь между суммарным испарением и растительной массой наблюдается только при очень небольших значениях ω. При возрастании ω эта связь вначале утрачивает линейный характер, а затем перестает существовать вообще. В результате влияние растительной массы на суммарное испарение сказывается только на ранних фазах развития растений. Исключение составляют весьма разреженные посевы.

Приведенные качественные представления о суммарном испарении могут быть использованы для уточнения и упрощения методики построения "биологической" кривой испарения, при этом необходимо заметить, что такие построения должны вестись для бездождных или межполивных периодов. Вопрос о влиянии задержания осадков на испарение воды почвой был кратко рассмотрен выше. Увеличение

же испарения вследствие задержания осадков растительным покровом происходит только при влажности почвы ниже критической. В остальных случаях сокращается лишь расходование запасов почвенной влаги вследствие того, что транспирация в течение сравнительно короткого времени полностью или частично компенсируется испарением воды, задержанной растительностью /6/. Учет влияния задержания осадков на испарение должен производиться путем введения дополнительного члена.

Дальнейшее развитие существующих представлений о суммарном испарении и транспирации связано с решением задачи о влагообмене и теплообмене внутри растительного покрова. Не останавливаясь, за недостатком времени, на этом решении, заметим лишь, что полученные результаты подтверждают приведенный выше качественный анализ связи между испарением воды почвой и транспирацией. Использование полученного решения для построения "биологической" кривой испарения и разделение его на две компоненты (испарение воды почвой и транспирацию) связаны с проведением специальных исследований с целью определения нескольких параметров этой зависимости.

В частном случае сомкнутого растительного покрова, для которого радиационный баланс почвы равен теплообмену в почве, получается уравнение, несколько отличающееся от уравнения (I). Перед полученным уравнением стоит множитель, имеющий такой же смысл, как и упоминавшийся ранее параметр α, и вместо коэффициента D входит довольно громоздкое выражение в виде трех слагаемых, имеющих размерность скорости. Одно из них практически постоянно, а два других зависят от скорости ветра. Это равносильно тому, что в уравнении (I) зависимость коэффициента D от скорости ветра была бы представлена уравнением прямой, не выходящей из начала координат.

Проведенные подсчеты показали, что в данном случае параметр α не превышает 1,03. Такое значение его вполне отвечает величине поправки, вводимой при осреднении вследствие температурной неоднородности растительного покрова. Таким образом устраняется отмеченное выше противоречие, заключающееся в том, что суммарное испарение сомкнутым растительным покровом заметно превышает испаряемость.

7. Изложенные выше представления об испарении могут быть использованы для построения интерполяционных зависимостей и расчетных формул. Это позволит значительно сократить объем непосредственных наблюдений за испарением и дать в конечном счете более полную картину его распределения в пространстве и времени. При построении таких зависимостей основная задача сводится, главным образом, к определению ряда параметров и простейших связей по

данным весьма кратковременных наблюдений. Частично эта цель уже достигнута. Так,для определения параметров a и d достаточно данных учащенных теплобалансовых наблюдений (через I час в дневные часы), проводящихся всего лишь в течение 4-5 дней. Вполне естественно, что накопление результатов таких исследований позволит в последующем построить детальную классификацию в общем мало изменяющихся параметров a и d и отказаться от постановки специальных исследований. Можно было бы привести примеры и других аналогичных построений, на которых мы не будем останавливаться за недостатком времени.

Вторая важная задача изучения испарения заключается в разработке методов его регулирования. Полученные к настоящему времени зависимости, а также упоминавшийся выше метод раздельного определения плотностей потоков воды и водяного пара в почве могут быть использованы для теоретического и экспериментального анализа как существующих, так и новых приемов регулирования естественного испарения.

В заключение необходимо подчеркнуть, что последующее углубление исследований процесса испарения поможет быстрее и лучше, при меньшей затрате средств, решать многочисленные практические задачи.

ЛИТЕРАТУРА

I. Абрамова М.М. - Движение воды в почве при испарении. Труды Почвенного института, т. 32, I953.

2. Алпатьев А.М. - Влагооборот культурных растений. Гидрометеоиздат, Л., I954.

3. Баранаев М.К. - Кинетика испарения. Успехи химии, т. УП,вып. 8, I938.

4. Будаговский А.И. - Зависимость испарения от метеорологических условий и влажности почвы. Сб."Вопросы орошения в низовьях Аму-Дарьи". Изд. АН СССР, I956.

5. Будаговский А.И. - Основные закономерности испарения в степной зоне. Известия АН СССР, сер.географ., № 3, I956.

6. Будаговский А.И. - Испарение с поверхности растительного покрова. Труды Ш Всесоюзного гидрологического съезда, т. Ш, I959.

7. Будаговский А.И. - Исследования формирования водного баланса почвы. Сб. "Тепловой и водный режим земной поверхности",Гидрометеоиздат, I960.

8. Будаговский А.И. - Водопотребление растений и его связь с гидрометеорологическими факторами. В кн. "Гидроклиматический режим лесостепной и степной зон СССР в засушливые и влажные годы". Изд. АН СССР,1960 .
9. Будыко М.И. - Об определении испарения с поверхности суши. Метеорология и гидрология, № I, 1955.
10. Долгов С.И. - Исследование подвижности почвенной влаги и ее доступности для растений. Изд. АН СССР, 1948.
11. Кокина З.А. - К вопросу о влиянии влажности почвы на растение. Известия Гл. ботан сада, т. 46, вып. I, 1927.
12. Коссович П.С. - Водные свойства почвы. Журнал опытной агрономии, кн. П-Ш, 1904.
13. Лобанов Н.В. - Критическая для высших растений почвенная влажность. Научно-агрономический журнал, № 10, 1926.
14. Лопухин Е.А. - Приближенный метод учета распределения суммарной радиации среди хлопчатника. Труды Ташкентской геофизической обсерватории, вып. 5, 1951.
15. Испарение воды почвой. В кн. "Основы агрофизики" (гл.4). Изд. физ.-мат. лит-ры, М., 1959.
16. Ничипорович А.А. и Чмора С.И. - Об использовании солнечной радиации на фотосинтез в посевах картофеля. Физиология растений, т. 5, вып. 4. Изд. АН СССР, 1958.
17. Харченко К.И. - Агроклиматические условия и испарение с сельскохозяйственных полей в степях Нижнего Дона. Труды ГГИ, вып. 71, 1959.
18. Шулейкин В.В. - Физика моря,т. П, ОНТИ НКТП 1938.

А.Р. Константинов, канд.физ.-мат.наук
(УкрНИГМИ, Киев)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СУТОЧНОГО И СЕЗОННОГО ХОДА ИСПАРЕНИЯ ПО СЕТЕВЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

В основе предлагаемой методики лежит разработанная автором [1] схема расчета испарения по градиентным данным. Для использования схемы необходимо знать скорость ветра, измеренную на одной высоте, температуру и влажность воздуха, измеренные на двух уровнях.

На метеорологических станциях, как известно, все эти элементы измеряются на одной высоте. Значения температуры и влажности воздуха на другом уровне могут быть определены косвенным путем, который заключается в следующем: выбирается второй, нижний уровень измерений и по данным градиентных наблюдений определяются значения метеоэлементов на этом уровне. Затем строятся эмпирические связи величин метеоэлементов на нижнем уровне с температурой и влажностью воздуха на высоте 2 м. В последние вносится поправка, обусловленная суточным и сезонным ходом этих элементов. Полученные из этой связи величины градиентов температуры и влажности воздуха используются при расчете интенсивности испарения методом турбулентной диффузии.

Для повышения точности метода за нижнюю высоту измерений принят уровень, наиболее близко расположенный к поверхности, с тем, чтобы разность температур и влажности воздуха на данном уровне и на высоте 2 м была максимальной. Этот уровень совпадает с верхней границей слоя шероховатости. Способ определения высоты этого слоя, т.е. величины коэффициента Z_o для отдельных сроков измерений, при различной скорости ветра и стратификации атмосферы, изложен в работах автора [2,3].

Наиболее сложным вопросом в разработке методики расчета испарения по данным метеорологических станций является определение вертикальных градиентов температуры и влажности воздуха, обусловливающих испарение за рассматриваемый промежуток времени. Если мы попытаемся связать значение величин температуры T_o и влажности воздуха e_o на верхнем уровне слоя шероховатости с температурой T_2 (ось абсцисс) и влажностью воздуха e_2 (ось ординат), измеряемыми на метеорологических станциях в психрометрических будках, то убедимся, что для дневных и ночных условий эта связь носит различный характер. В утреннее и дневное время суток обычно наблюда-

ется сверхравновесная стратификация атмосферы, при которой температура воздуха на верхнем уровне шероховатости z_0 превосходит температуру на высоте 2 м. В вечернее и ночное время преобладают инверсионные условия, при которых температура слоев воздуха, примыкающих к поверхности, вследствие ее выхолаживания опускается ниже температуры воздуха на высоте 2 м. Подобная, но более сложная, картина наблюдается и с ходом влажности воздуха.

Для того чтобы построить связь вертикального градиента температуры с температурой и влажностью воздуха, измеряемыми на метеостанции, необходимо учесть инерционность процесса передачи тепла и влаги от поверхности почвы на уровень установки психрометрических будок (2 м).

Температура поверхности почвы определяется, в основном, интенсивностью солнечной радиации. Она максимальна в 13 часов и минимальна, как правило, перед восходом солнца. Соответствующие максимумы и минимумы температуры воздуха сдвигаются на более позднее время.

Для того чтобы привести температуру воздуха в соответствие с температурой поверхности почвы, необходимо сдвинуть всю кривую суточного хода температуры воздуха справа налево, совместив ее максимум с 13-часовым сроком (рис. 1). Разность между этой симметричной относительно полудня кривой и старой фактической кривой дает ту искомую поправку к измеренной температуре воздуха, которая делает последнюю соответствующей стационарной связи температуры почвы с температурой воздуха, т.е. определяет собою вертикальный профиль температуры воздуха между рассматриваемыми уровнями. Аналогичным образом может быть получена и величина поправки к влажности воздуха.

Для построения графика этих поправок был изучен суточный ход температуры и влажности воздуха, регистрируемых на метеорологических станциях в психрометрических будках.

Из обработки осредненных суточных ходов был построен график (рис. 2), по оси ординат которого откладывалась величина соответствующей поправки, а по оси абсцисс - время. На пересечении этих координат, соответствующих данному сроку измерений, записывалась измеренная температура воздуха. Средние изолинии дают возможность снять с этого графика значения поправок с учетом температуры воздуха в момент измерений. На характер связи величин $T_0 - T_2$ и $e_0 - e_2$ с величинами T_2 и e_2 влияет не только суточный, но и сезонный ход метеоэлементов. Солнечными лучами нагревается в первую очередь поверхность почвы, а от нее - прилегающие слои

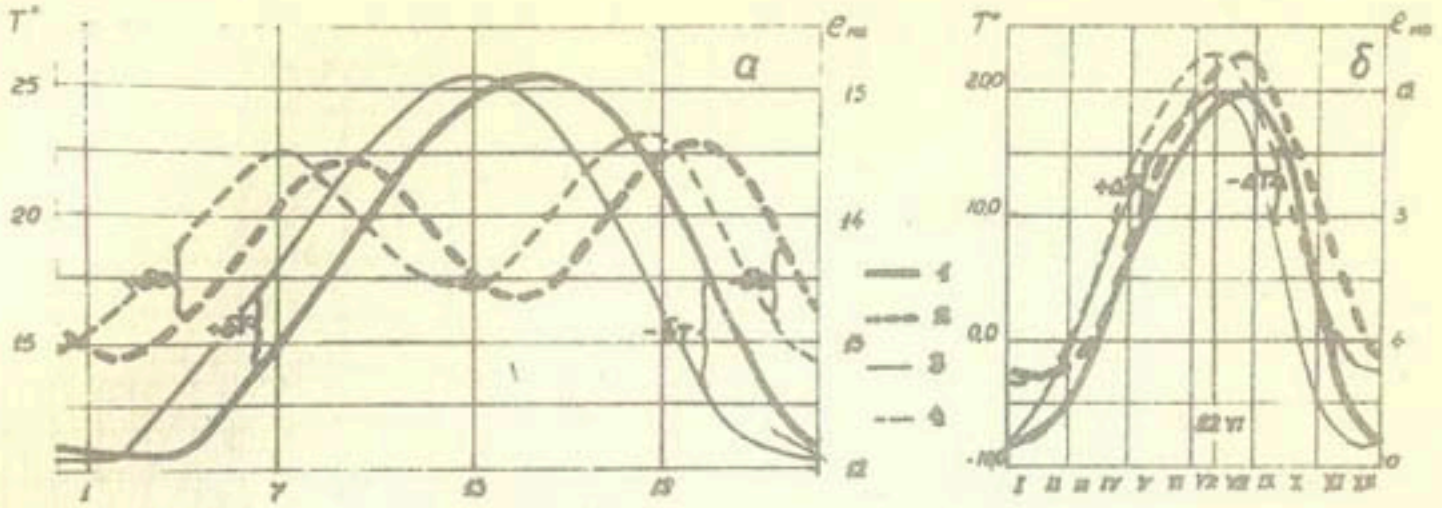


Рис. I. Способ определения величины поправки на суточный (а) и сезонный (б) ход температуры и влажности воздуха.
δT и δe - поправки на суточный ход;
ΔT и Δe - поправки на сезонный ход;
I - фактический суточный и сезонный ход температуры воздуха, 2 - фактический суточный и сезонный ход влажности воздуха, 3 - сдвинутые кривые суточного и сезонного хода температуры воздуха, 4 - сдвинутые кривые суточного и сезонного хода влажности воздуха.

воздуха, поэтому в зимне-весенний период (с 22 декабря по 22 июня) среднесуточная температура воздуха вблизи поверхности почвы, как правило, выше среднесуточной температуры воздуха на высоте 2 м. В этот период имеет место запаздывание роста среднесуточной температуры воздуха на высоте 2 м по сравнению с ростом температуры приповерхностного воздуха. То же самое, но в несколько более усложненном виде (в силу большой сложности суточного хода абсолютной влажности воздуха) относится и к соотношению влажности воздуха у поверхности земли и на высоте 2 м.

Для учета влияния сезонного хода температуры и влажности воздуха на разности $T_0 - T_2$ и $e_0 - e_2$ к величинам T_2 и e_2 были определены поправки, которые приводили бы эти характеристики за любой период времени к значениям, соответствующим стационарным связям этих величин с разностями $T_0 - T_2$ и $e_0 - e_2$. Эти поправки, полученные по данным 27 метеостанций, расположенных в различных климатических зонах, приведены на рис. 3.

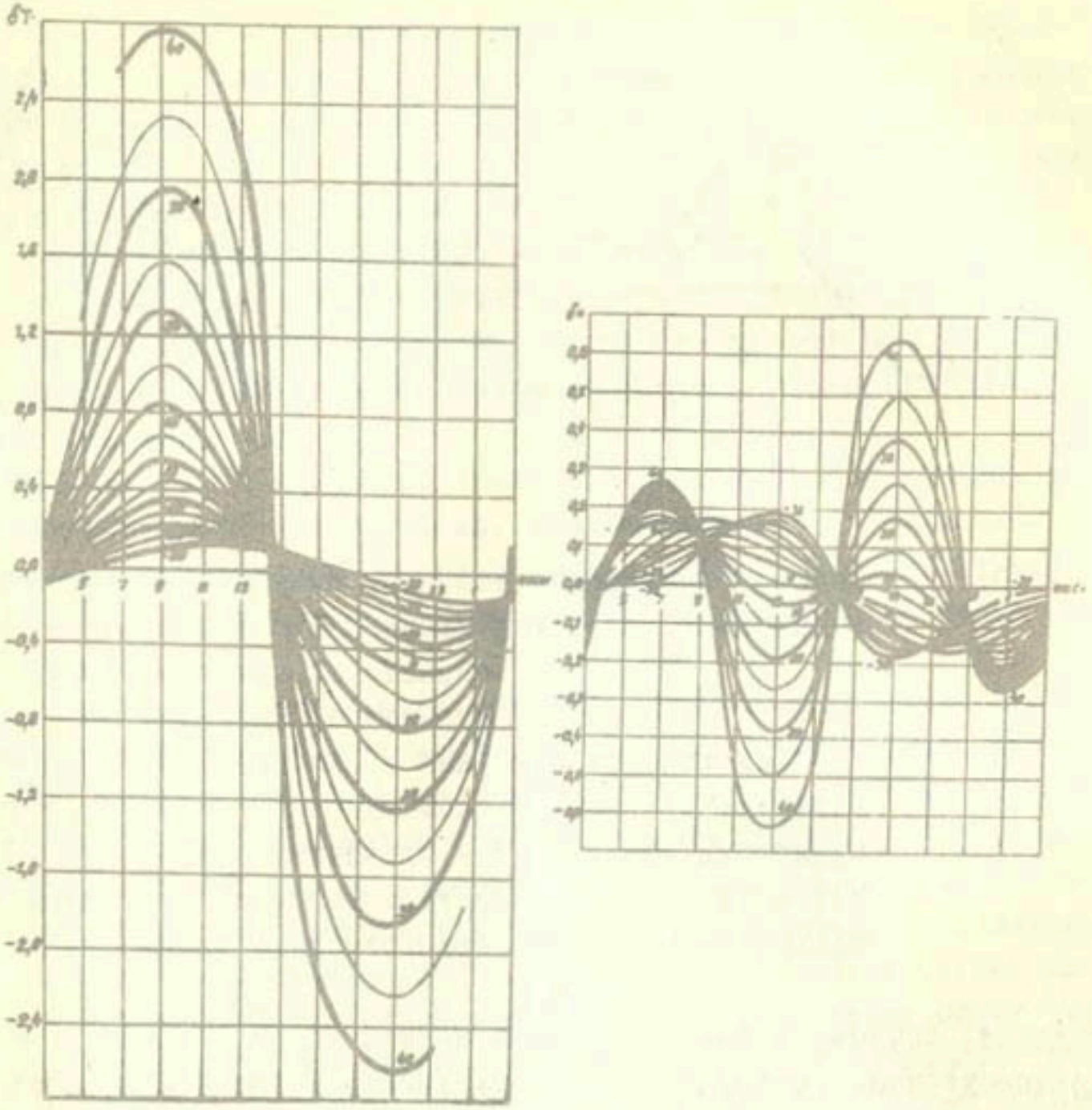


Рис. 2. График поправок на суточный ход температуры δT и влажности δe воздуха.

После внесения поправок на суточный и сезонный ход температуры и влажности воздуха были построены графики связи величин $T_0 - T_2$ и $e_0 - e_2$ со значениями T_2 и e_2, которые приводятся в работе [3]. С помощью этих графиков определяются величины градиентов температуры и влажности по значениям T_2 и e_2, измеренным в психрометрических будках на метеорологических станциях.

Для расчета испарения по методу турбулентной диффузии необходимо иметь, кроме вертикальных градиентов температуры и влажности воздуха, еще и значения скорости ветра. Однако использование при расчетах испарения скорости ветра, измеренной на метеостанции, неко-

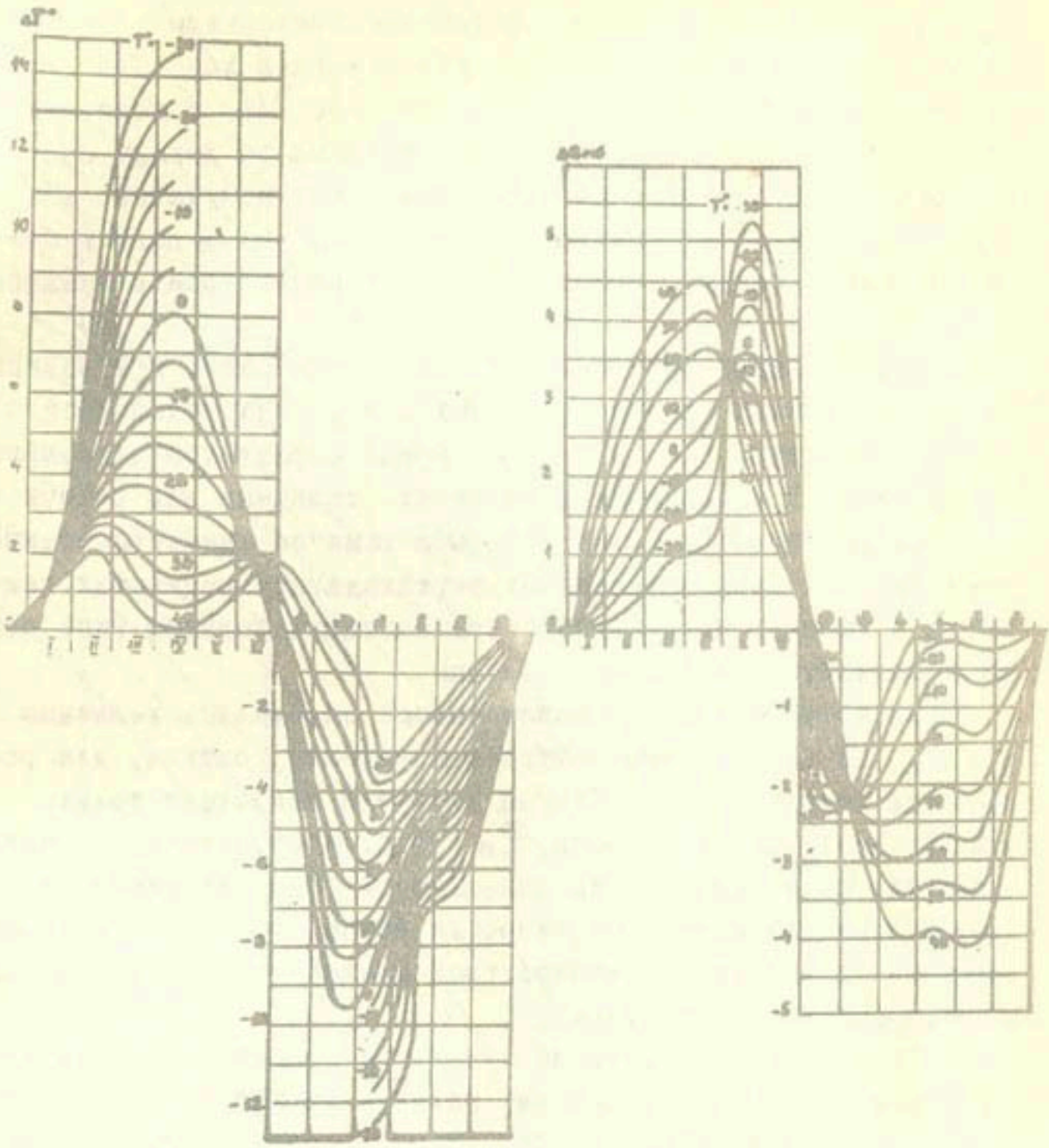


Рис. 3. График поправок на сезонный ход температуры ΔT и влажности Δe воздуха.

лательно по следующим причинам:

1. На метеорологических станциях не производится регистрация суточного хода скорости ветра, вследствие чего не представляется возможным рассчитывать суточный ход испарения.

2. Методика измерения скорости ветра с помощью флюгера крайне неточна.

3. Учет величины скорости ветра в расчетных схемах усложняет методику расчета испарения.

В силу изложенного была исследована связь величины скорости

ветра с температурой и влажностью воздуха. Естественно, что в этом случае, так же как и при определении величин $T_0 - T_2$ и $e_0 - e_2$, необходимо пользоваться исправленными значениями температуры и влажности воздуха на их суточный и сезонный ход. Для установления связи величин скорости на высоте флюгера $U_ф$ с величинами T_2 и e_2 за отдельные сроки использовались средние за декаду срочные данные измерений соответствующих метеоэлементов, полученные в различных климатических зонах Советского Союза. По этим данным был построен график связи между скоростью ветра, температурой и влажностью воздуха [3].

Максимальные значения скорость ветра имеет при равновесных и слабо выраженных сверхравновесных состояниях устойчивости стратификации атмосферы, т.е. в дневное время с развитой циклонической деятельностью. В инверсионных условиях, типичных для ночной части суток, скорость ветра снижается. Она заметно снижается также и при значительных сверхравновесных вертикальных градиентах температуры, когда в светлую часть суток, при антициклональном типе погоды, часто наблюдаются "штилевые" условия.

После того как мы нашли способ определять величины $T_0 - T_2$, $e_0 - e_2$ и $U_ф$ по температуре и влажности воздуха, для расчета испарения методом турбулентной диффузии недостает только знания коэффициента шероховатости Z_0. Этот коэффициент, наряду с зависимостью от шероховатости поверхности, зависит также от устойчивости стратификации и от скорости ветра, т.е. от тех характеристик, которые определяются температурой и влажностью воздуха, измеренным в психрометрических будках.

Вначале были построены отдельные графики зависимости величин Z_0 для луга, снега, паровых полей и зерновых культур от температуры и влажности воздуха. При этом Z_0 определялось по осредненному профилю скорости ветра путем экстраполяции по логарифмическому закону значений скорости до уровня, на котором скорость обращается в нуль. Осреднение профиля скорости ветра осуществлялось путем использования данных градиентных измерений, проводимых на уровнях 0,2 и 2 м за несколько сроков наблюдений при близких значениях температуры и влажности воздуха. Полученные таким образом величины Z_0, после осреднения, наносились на график с координатами T_2 и e_2 [3].

После определения Z_0 по формулам метода турбулентной диффузии рассчитывалась величина испарения за промежуток времени, равный I ч. Полученные таким образом величины наносились на график с координатами T_2 и e_2 (рис. 4), который является основным при расчетах суточного хода испарения по температуре и влажности воздуха, измеренным на метеорологических станциях.

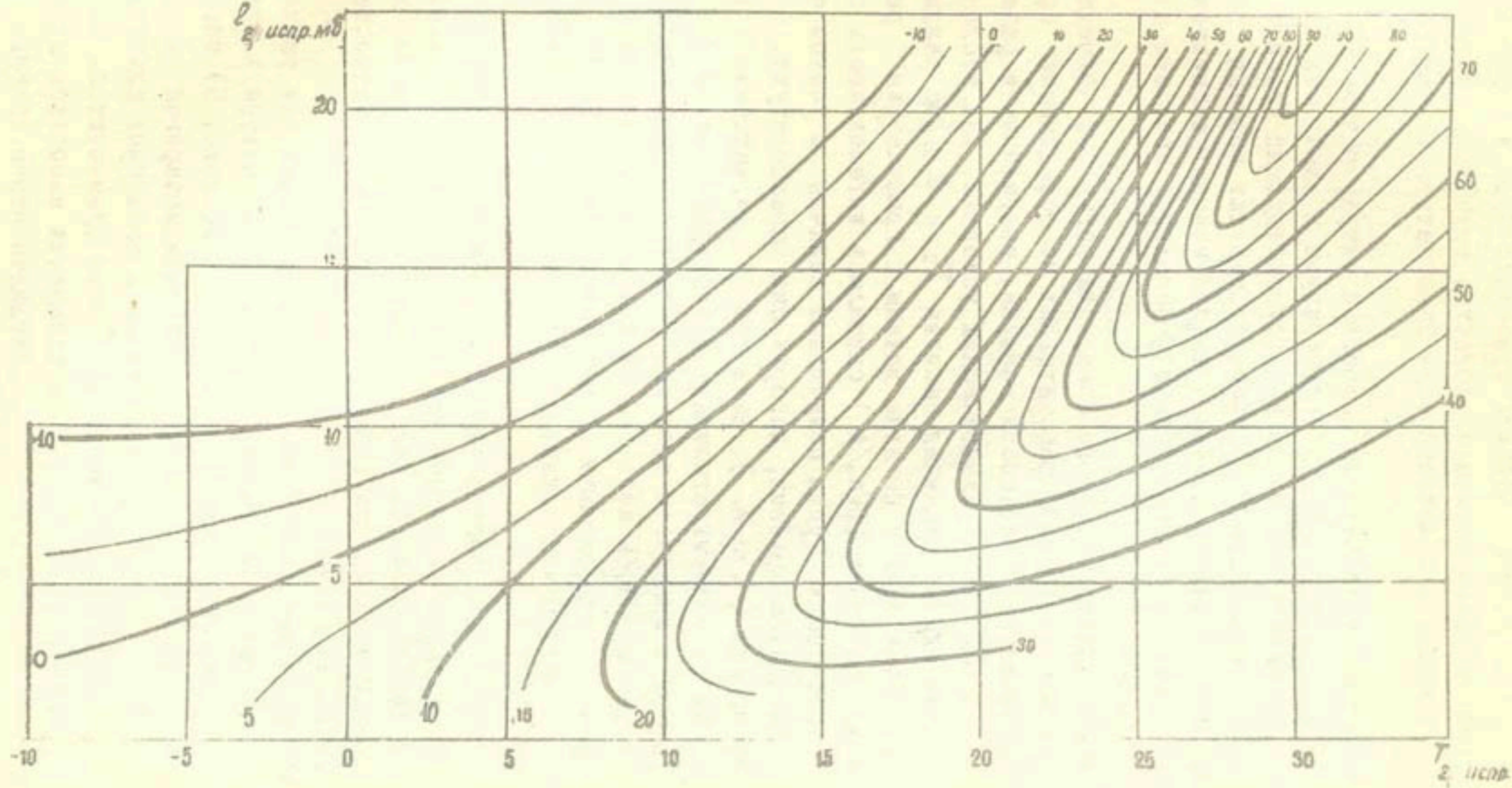


Рис. 4. График для расчета суточного хода испарения (мм/час; величины, умноженные на 100) с поверхности почвы и снега по срочным значениям температуры $T_{2,\text{испр.}}$ и влажности $e_{2,\text{испр.}}$ воздуха, измеренным на метеорологических станциях.

Тот факт, что несмотря на многочисленные попытки до сих пор не были построены схемы расчета суточного хода испарения по сетевым метеорологическим данным, объясняется неучетом в этих схемах поправки к суточному и сезонному ходу температуры и влажности воздуха.

Кривые зависимости величин скоростей ветра, разностей $(T_o - T_a)$ и $(e_o - e_a)$ и параметра Z_o от температуры и влажности воздуха справедливы для мгновенных профилей соответствующих элементов. Для удобства расчета испарения за большие промежутки времени необходимо использовать характеристики метеорологических элементов не за отдельные сроки, а среднесуточные, декадные, месячные или сезонные их значения.

Величины среднего суточного испарения могут быть определены как сумма величин испарения, рассчитанных по осредненным срочным значениям температуры и влажности воздуха, полученным в различное время года при различных климатических условиях. Для этого определялись среднемесячные значения величин T_a и e_a за каждый из четырех сроков измерений и по этим данным с графика для расчета суточного хода испарения (рис. 4) снималась интенсивность испарения за отдельные сроки. Сумма полученных величин с учетом продолжительности интервала времени, который они характеризуют, равна суточному испарению ($E_{сут.}$). Величины $E_{сут.}$ наносились на график с осями, вдоль которых откладывались средние суточные величины температуры и влажности воздуха. Последние выбирались для расчета таким образом, чтобы весь график был сравнительно равномерно заполнен точками с нанесенными на них значениями величин $e_{сут.}$ После этого проводились изолинии рассчитанных величин суточного испарения.

В результате было построено семейство кривых интенсивности испарения (рис. 5), позволяющее определять среднее испарение (мм/сут.) за расчетный период (декада, месяц, сезон) по осредненным значениям температуры и влажности воздуха, измеренным на метеостанциях за рассматриваемый период.

Предложенную методику можно сделать пригодной для расчета годовой суммы испарения по средним значениям температуры и влажности воздуха за год. Для этого с помощью графика (рис. 5) определяются средние многолетние месячные величины испарения по данным метеорологических станций, расположенных в различных климатических зонах. Эти месячные величины испарения суммируются. Полученные таким образом значения годового испарения наносятся на график с координатами $T_{ср.год}$ и $e_{ср.год}$. Изолинии этого графика дают

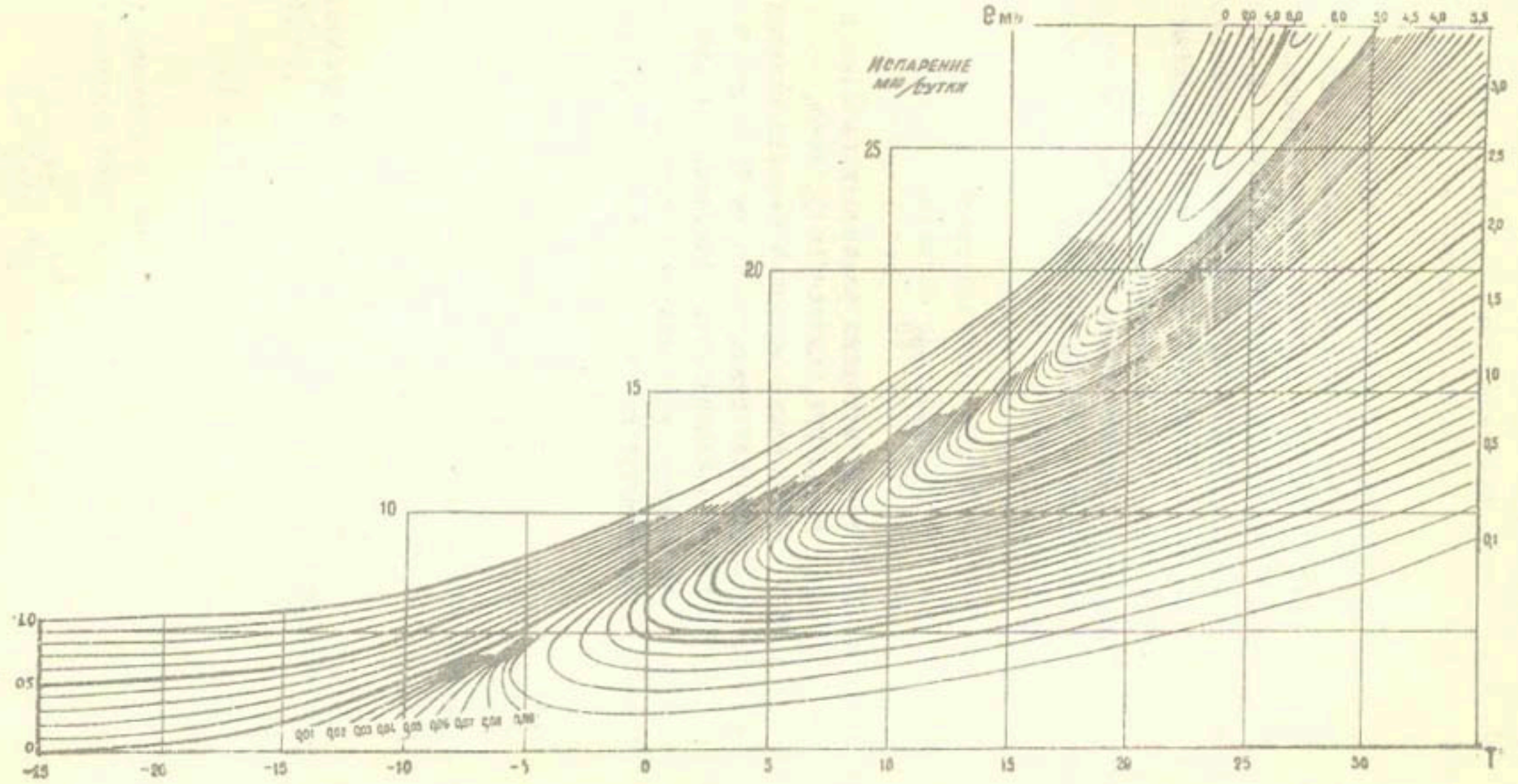


Рис.5. График для расчета величин испарения (мм/сут) с поверхности почвы и снега по средним значениям температуры и влажности воздуха, измеренным на метеорологических станциях.

возможность непосредственно снять с него величины годового испарения по среднегодовым значениям температуры и влажности воздуха.

Подробные результаты проверки расчетной методики приведены в работе [3].

Для проверки использовались результаты измерения испарения с помощью испарителей ГГИ-500 с луга (ВНИГЛ, Елизаветино, Зосены, Чита, Великий Анадоль, ДНИГЛ и Уил), с парового поля (Каменная Степь) и снега (ВНИГЛ, ДНИГЛ и Бомнакская стоковая станция). Во всех случаях рассчитанные величины испарения удовлетворительно согласуются с измеренными величинами. Соответствующие расчеты по графикам Б.В. Полякова и П.С. Кузина дали менее надежные результаты.

Проверка методики расчета годовых сумм испарения по среднегодовым значениям температуры и влажности воздуха также дала удовлетворительные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Константинов А.Р.-Основы методики расчета испарения в естественных условиях. Труды ГГИ, вып.48(102), 1955.
2. Константинов А.Р.-Обоснование методики расчета испарения по данным метеорологических станций. Труды ГГИ, вып.54(108),1956.
3. Константинов А.Р.-Методика расчета испарения с почвы, воды и снега по температуре и влажности воздуха, измеренным на сетевых метеорологических станциях. Труды ГГИ, вып. 81,1960.

М.А. Каганов, канд. физ.-мат. наук
(АФИ, Ленинград)

МЕТОДИКА ГРАДИЕНТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ИСПАРЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

При определении испарения, а также турбулентного потока тепла методами теплового баланса и турбулентной диффузии точность получаемых данных зависит в первую очередь от точности измерения градиентов температуры ΔT и влажности Δe в приземном слое воздуха.

В настоящее время обычно при проведении градиентных измерений искомые разности значений влажности и температуры определяются не непосредственно, а получаются в результате вычитания величин влажности и температуры, измеренных с помощью отдельных приборов (психрометров) на соответствующих высотах; точность подобных измерений невелика и совершенно не удовлетворяет предъявляемым требованиям. Это связано с тем, что как погрешность отдельных измерений, так и микроколебания определяемых показаний термометров обычно имеют тот же порядок величины, что и измеряемые разности.

В последнее время был создан ряд образцов электропсихрометров, позволяющих производить непосредственно определение величины ΔT ; что касается методики измерения перепада влажности, то эта задача не получила своего разрешения несмотря на всю ее важность.

При использовании психрометров перепад влажности между двумя точками определяется соотношением :

$$\Delta e = e_1 - e_2 = E(T_1^x) - E(T_2^x) - A p \left[(T_1 - T_2) - (T_1^x - T_2)\right] . \qquad (1)$$

Здесь T и T^x – температуры сухого и смоченного термометров;
A – психрометрическая постоянная;
P – атмосферное давление.

Раскладывая величину $\Delta E = E(T_1^x) - E(T_2^x)$ в ряд по степеням $\Delta T^x = T_1^x - T_2^x$ и ограничиваясь первым членом разложения, получаем, что

$$\Delta e = \left(\frac{dE}{dT^x} + A p\right)\Delta T^x - A p \Delta T . \qquad (2)$$

Погрешность в определении Δe вследствие пренебрежения последующими членами ряда не превышает величины

$$\delta = \frac{d^3 E}{dT^{x3}} \frac{\Delta T^{x3}}{24} = 10^{-4} \Delta T^{x3} \text{ мм} . \qquad (3)$$

Для непосредственного измерения величины Δe психрометрическим методом необходимо использовать психрометры с электрическими датчиками температуры. Датчики должны быть включены в измерительную схему, моделирующую соотношение (2). Из формулы (2) следует, что измерительное устройство должно состоять из двух независимых дифференциальных схем:одной -с сухими и другой - со смоченными термометрами.

Чувствительность первой схемы должна быть постоянной, чувствительность второй - возрастать с увеличением температуры смоченных термометров пропорционально

$$\varphi = \frac{dE}{dT^x} + Ap \quad . \qquad (4)$$

Соответственно величина Δe определяется по величине тока i с помощью схемы, состоящей из двух независимых источников тока:

$$i_1 = K\, Ap\, \Delta T \quad , \qquad (5)$$
$$i_2 = K\, \varphi(T^x)\, \Delta T \quad , \qquad (6)$$
$$i = i_2 - i_1 \quad . \qquad (7)$$

Ход изменения чувствительности этих схем с температурой представлен на рис. I.

Анализ показывает, что схемы,удовлетворяющие соотношениям (5) и (6), могут быть получены с использованием в качестве датчиков температуры полупроводниковых термосопротивлений , металлических термометров и термопар . В последних двух случаях для обеспечения требуемого по условию (6) возрастания чувствительности с температурой в измерительную цепь дополнительно вводится полупроводниковое термосопротивление с отрицательным температурным коэффициентом.

Рассмотрим измерительное устройство с психрометрами, имеющими полупроводниковые термометры. Преимущества такого прибора заключаются в высокой температурной чувствительности термосопротивлений (что дает возможность использовать сравнительно низкочувствительную измерительную аппаратуру), а также в отсутствии необходимости введения дополнительных датчиков.

Конструкция разработанного нами психрометра рассчитана на применение стандартных термосопротивлений типа ММТ-4 или КМТ-4. Устройство для автоматического смачивания обеспечивает поддержание батиста, которым обвязан один из термометров, в определенном постоянном состоянии увлажнения; вентилятор, приводимый во вращение электромотором, дает возможность поддерживать постоянную скорость аспирации.

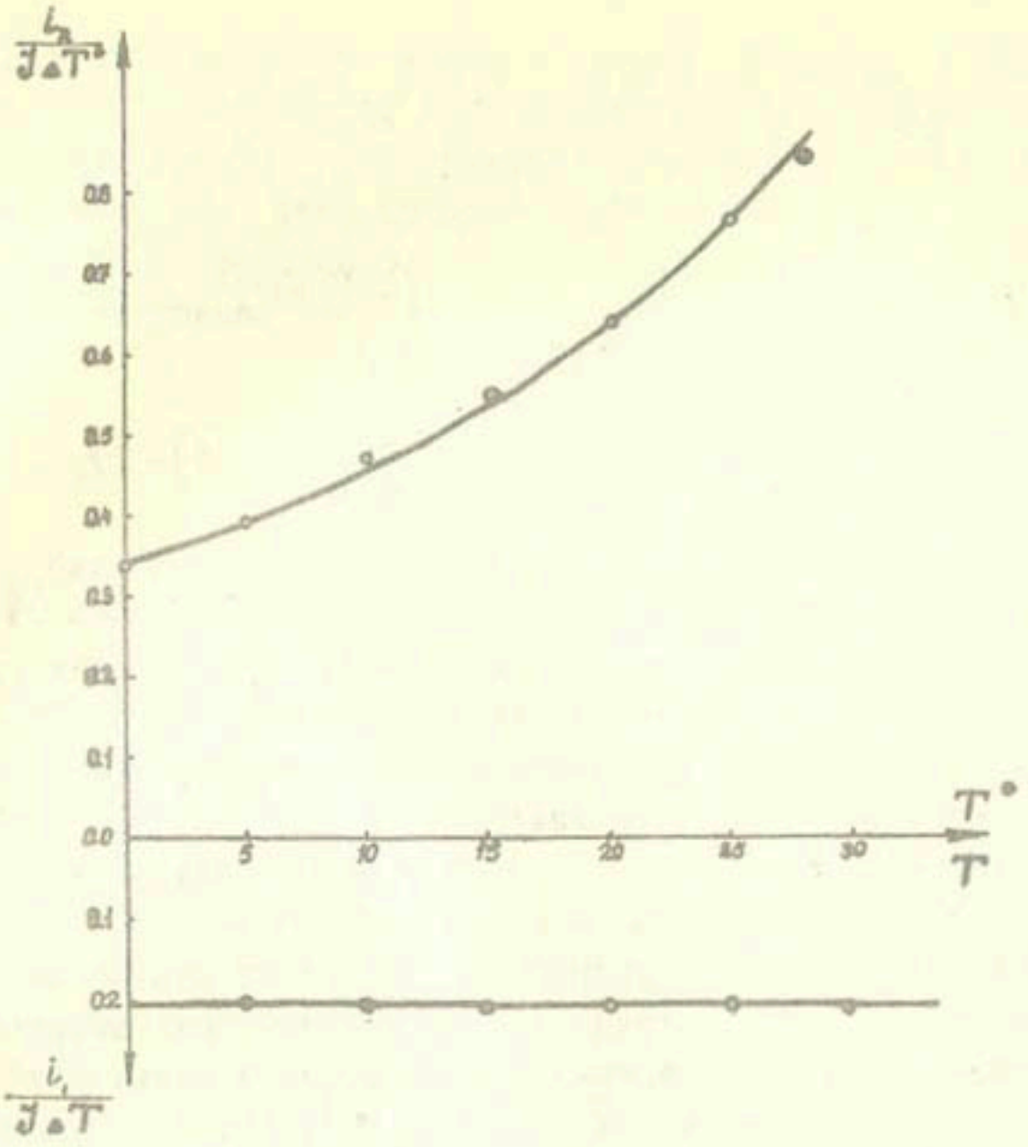


Рис. I. Зависимость чувствительности дифференциальных схем прибора для измерения перепада влажности от температуры чувствительных элементов ($\mathcal{J}$ - ток полного отклонения прибора).

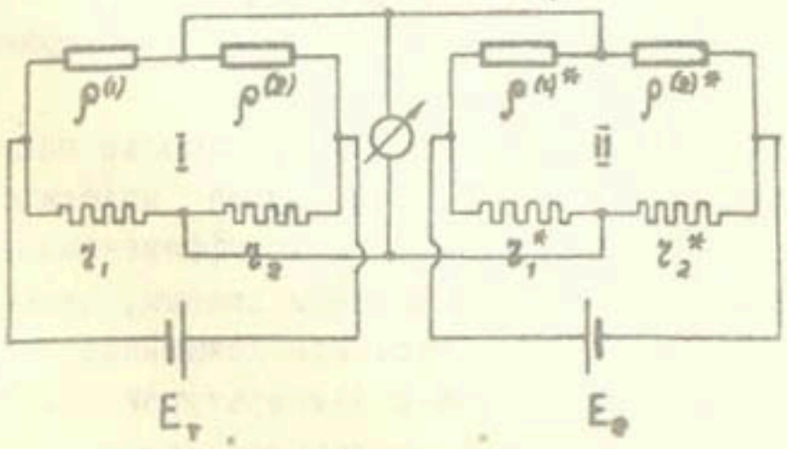


Рис.2. Принципиальная схема прибора для измерения перепада влажности.

Принципиальная схема прибора для измерения $\Delta\theta$ представлена на рис. 2. Схема состоит из двух дифференциальных мостов. Мост I составлен из термосопротивлений $\rho^{(1)}$ и $\rho^{(2)}$ (сухие термометры психрометров) и постолнных сопротивлений r_1 и r_2. Величина последних определяется в

соответствии с условием получения линейной зависимости отклонения прибора от разности температур. Мост П составлен из термосопротивлений $\rho^{(1)x}$ и $\rho^{(2)x}$ (смоченные термометры) и постоянных сопротивлений z_1^x и z_2^x. Величины этих сопротивлений рассчитываются по разработанной ранее методике [1], основанной на теории приближения функций Чебышева. Величина $z_1=z_2=z$ при равенстве номинальных сопротивлений датчиков оказывается равной

$$z=\rho^x(T_0)\left[\frac{B}{2T_0^x\left(1+\frac{T_0^x\varphi_0'}{2\varphi_0}\right)}-1\right]-2z_1 . \quad (8)$$

Здесь T_0^x – середина интервала возможных изменений T^*,
B – параметр термосопротивления $\left(\rho=c\,exp\left(\frac{B}{T}\right)\right)$.

Точность приближения к требуемому ходу чувствительности схемы вида (4) такова, что погрешность не превышает 2%. На графике (рис. I)отмечены значения чувствительности, определенные для прибора, рассчитанного на диапазон измерений ΔT в ± 5 и $\Delta e \pm 2{,}5$ мм.

Расхождения для тока i_1 не превышают в интервале температур 0-35° I,5% и для тока i_2 – в интервале 0-30° 2,0%.

Применение описанного устройства позволяет значительно повысить надежность данных, получаемых при градиентных измерениях, а также упрощает процесс измерений. Рассмотренная схема измерения Δe и ΔT использована в установке для автоматической регистрации компонент теплового баланса (см. доклад Р.Л. Розенштока).

Наряду с полупроводниковыми датчиками в психрометрах, предназначенных для непосредственного измерения значения Δe, могут применяться также металлические термометры сопротивления. Для моделирования соотношения (7) при этом также используется схема из двух дифференциальных мостов. Требуемое возрастание чувствительности моста П с температурой обеспечивается включением в цепь питания термосопротивления с отрицательным температурным коэффициентом.

Градиент влажности может быть измерен также с помощью психрометров с термоэлектрическими датчиками. В этом случае моделирование соотношения (7) осуществляется с помощью двух дифференциальных термопар, одной – с сухими и другой – со смоченными спаями, включенных параллельно измерительному прибору. Требуемое повышение чувствительности термопары со смоченными спаями с температурой достигается включением в ее цепь вспомогательного термосопротивления.

Недостатки двух последних схем были отмечены выше. Их достоинством является то, что полупроводниковое термосопротивление яв-

[1] М.А. Каганов. Автоматика и телемеханика № I, I952.

ляется вспомогательным элементом цепи и некоторая нестабильность его параметров практически не сказывается на точности измерений. Однако в виду необходимости применения высокочувствительной аппаратуры (зеркальные гальванометры, усилители) область применения указанных схем ограничена.

Е. А. Цубербиллер, доц., канд.с.-х. наук,
и Г. В. Белухина, мл.научн.сотр.
(ЦИП, Москва)

О РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИСПАРЕНИЯ С СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ МЕТОДОМ А. А. СКВОРЦОВА

Метод определения испарения с естественных поверхностей А.А.Скворцова основан на открытом им законе "ярусности" конвективного обмена. Сущность этого закона состоит в следующем.

Восходящие потоки и массы нагретого воздуха, отдавая тепло окружающему воздуху и охлаждаясь, поднимаются только до некоторых высот и образуют вместе с нисходящими потоками слои с замкнутой циркуляцией. По мере накопления тепла в таких слоях они разрываются и образуют потоки и массы, формирующие новые слои с замкнутой циркуляцией. Такие слои, располагаясь один над другим, образуют систему ярусов. Установленную закономерность, заключающуюся в том, что процесс теплового конвективного обмена сопровождается образованием слоев-ярусов с замкнутой циркуляцией и осуществляется путем периодического разрушения и восстановления ярусов, автор предложил назвать законом ярусности конвективного теплового обмена [5,6].

Исследованиями Скворцова было установлено существование в полевых условиях трех слоев-ярусов с замкнутой циркуляцией. У поверхности почвы до высоты 3-5 см располагается ярус, названный автором припочвенным ярусом. До высоты 2-3 м простирается следующий-нижний приземный ярус. Далее вверх до 200-300 м располагается еще один ярус (верхний приземный). В дальнейшем Н.И. Вульфсоном был обнаружен еще один ярус, доходящий до высоты 1000-1200 м.

В лабораторных условиях Скворцов установил существование ярусов, имеющих размеры меньше припочвенного. Он высказал предположение, что непосредственно над нагретыми поверхностями должен существовать ярус, в котором передача тепла осуществляется путем молекулярной диффузии. Такой "молекулярный ярус" является первичным образованием. Таким образом, строится ярусная система процесса теплового конвективного обмена, охватывающая явление от молекулярных размеров до масштабов, измеряемых десятками и сотнями метров.

Наблюдениями при помощи малоинерционных термометров (термопары из проволочек диаметром 0,05 мм, включенной в петельный гальванометр Цейсса) было показано, что разрушения (смены) припочвенного яруса происходят летом в дневные часы через 0,7-1,0 сек, а смена нижнего приземного яруса - через 20-30 сек. Длительность

смен имеет дневной ход, зависящий от интенсивности нагревания поверхности почвы. Измерения также показали, что при сменах воздух, расположенный на верхней границе яруса, доходит до нижней границы без изменений температуры. Закон ярусности объясняет таким образом прерывистый характер процесса теплового конвективного обмена и формирования потоков и масс воздуха различных размеров.

Образование ярусов и внутриярусные процессы Скворцов изучал сначала преимущественно в безветренные дни и дни со слабыми ветрами (до 3-4 м/сек). Исследование вопроса о том, как сочетается система ярусов с динамическими образованиями при более сильных ветрах, Скворцов завершить не успел. Им было показано, что образование ярусов в ночное время происходит за счет пара, поступающего с испаряющих поверхностей.

Рядом исследований, в которых принимал большое участие Б.Е. Милькис, выяснена роль микрорельефа при формировании ярусов и потоков внутри их. Было установлено, что на поверхности микрорельефа, измеряемого сантиметрами (неровности почвы, комки на вспаханном поле, грядки и т.п.), возникает склоновая циркуляция, аналогичная горной склоновой циркуляции. На склонах микрорельефа было обнаружено существование восходящих потоков, имеющих мощность порядка 3-5 см (припочвенный ярус), двигающихся со скоростями, превышающими скорости в выше расположенных прилегающих слоях воздуха. Измерения температуры в таких потоках показали, что в верхней части происходит нагревание воздуха. Потоки, движущиеся по склонам микрорельефа, образуют возле вершин восходящие потоки, обусловливающие формирование нижнего приземного яруса.

Совместно с теплообменом происходит и влагообмен. Вместе с теплом в ярусах при испарении накопляется парообразная влага, которая во время смен ярусов переходит из яруса в ярус. Через каждый ярус в единицу времени, при стационарном протекании процесса, проходит одно и то же количество пара, что приводит к выражению

$$P=\frac{1}{\tau_0} L_0 \bar{\tau}_0 = \frac{1}{\tau_1} L_1 \bar{\tau}_1 = \cdots\cdots \frac{1}{\tau_n} L_n \bar{\tau}_n ,$$

где P - количество пара, проходящего в единицу времени через соответствующие ярусы (0, I, ... n), $\tau_0, \tau \cdots \tau_n$ - промежуток времени между двумя очередными сменами воздуха в различных ярусах, $L_0, L_1 \cdots L_n$ - высота ярусов, $\bar{\tau}_0, \bar{\tau}_1 \cdots \bar{\tau}_n$ - среднее количество влаги, накопившейся в соответствующих ярусах между двумя сменами. Приведенное выражение описывает закон ярусности применительно к влагообмену.

Установление закона ярусности и его математическое оформление позволили Скворцову дать новый метод расчета испарения и теплообмена, согласно которому количество влаги U, испарившейся в единицу времени с единицы площади, можно рассчитать по формуле

$$U = \frac{1}{\tau_T} L_T \bar{z}_T + \frac{1}{\tau_T} L_P \bar{z}_P ,$$

где индексами T и P обозначены нижний приземный и припочвенный ярусы. В этом выражении не учитывается накопление пара в ярусах, расположенных ниже припочвенного яруса, вследствие малости этой величины

Второй член правой части формулы дает накопление водяного пара в припочвенном ярусе за период между сменами нижнего приземного яруса (τ_T).

Скворцовым было установлено, что небольшие периодические колебания ртутного термометра в психрометре Ассмана, наблюдаемые при измерениях температуры воздуха, происходят вследствие смен воздуха в нижнем приземном ярусе. Это позволяет легко и просто регистрировать смены при помощи психрометра Ассмана. Расчет испарения по указанной формуле производится на основе данных измерений влажности воздуха психрометром Ассмана на различных высотах над почвой (до 2-3 м). По этим данным строится кривая распределения влагосодержания, по которой можно подсчитать $L_P \bar{z}_T$ и $L_P \bar{z}_P$. Величина τ_T определяется при помощи секундомера, которым фиксируется промежуток времени между двумя микроколебаниями температуры смоченного термометра (между двумя максимумами или минимумами).

Метод А.А.Скворцова применялся в 1945-1954 гг. им самим и его аспирантами и студентами-дипломантами для определения испарения с поверхности почвы, лишенной растительного покрова. В дальнейшем метод стал применяться для определения испарения с полей, занятых сельскохозяйственными культурами: в 1947-1948 гг. А.С.Конторщиковым (хлопчатник, кукуруза), затем Н.А.Филиной [8] и М.В.Зуевым [3] (хлопковое поле), А.С.Сараевым (кукуруза, картофель, люцерна), Г.В.Белухиной [1,2] (озимая и яровая пшеница, кукуруза), Е.А.Цубербиллер [11, 12, 13] (картофель, озимая рожь и озимая пшеница), Г.А.Красницким и А.С.Сараевым [7] и студентами-дипломниками Средне-Азиатского гос. университета для определения испарения с водной поверхности.

24/II 1954 г., еще при жизни А.А.Скворцова, и 7/V 1955 г., после его кончины, состоялись совещания по обмену опытом между ра-

ботающими по методу Скворцова [9]. На этих совещаниях были доложены результаты проверки метода, проведенной различными путями, и рассмотрен ряд методических вопросов. На совещании метод Скворцова был признан вполне пригодным для определения испарения с почвы, растительного покрова и воды. В 1950-1951 гг. Н.А. Филина (Ташкент) сопоставила вычисленные по методу Скворцова и найденные из данных наблюдений над элементами теплового баланса величины тепла, затраченные на испарение и теплообмен между почвой и воздухом на хлопковом поле в полуденные часы. В среднем из 66 случаев было получено расхождение между определениями по этим двум методам, равное 6 %.

То же было проделано М.В.Зуевым (Ташкент) в различные сроки в дневные часы и получено в среднем из 56 случаев расхождение 7%. Аналогичные сопоставления, проведенные Е.А. Цубербиллер на картофельном поле под Москвой, дали расхождение 7,5%, а Г.В.Белухиной на поле с яровой пшеницей в Джанкое и в Бузулуке - 10%.

Выполненные Г.В.Белухиной и Е.А. Цубербиллер сопоставления результатов определений испарения по методу Скворцова и по методу водного баланса на полях с орошаемой и неорошаемой яровой пшеницей в Поволжье и Крыму и на картофельном поле под Москвой дали в разное время расхождения от 0 до 30% (табл.I).

Таблица I

Данные наблюдений Белухиной и Цубербиллер

Место и время наблюдений	Культура	Характер участка	Среднее испарение, мм/сутки		Число наблюдений (дней)
			по методу Скворцова	по методу водного баланса	
Ершов, 1952 г.	Пшеница	неорош.	2,7	1,9	20
" "	"	орошаем.	6,0	6,4	10
Джанкой, 1953г.	"	неорош.	2,8	3,0	48
" "	"	орошаем.	3,8	3,8	46
Коренево, 1952г.	Картофель		2,1	2,6	47
" "	"		1,5	1,7	44

В 1953 г. А.С.Сараевым делались сопоставления данных измерений испарения с водной поверхности по методу Скворцова и по испарителю ГГИ - 3000. При этом разница в результатах наблюдений в течение 109 дней оказалась равной 9%.

Н.А. Филина отмечает некоторые особенности процесса тепло-и влагообмена, происходящего на хлопковом поле в случаях возникновения дневных инверсий температуры, и указывает способ расчета испарения для этих случаев.

При дневных инверсиях среди растений благодаря транспирации образуется слой - "подушка" влажного и охлажденного воздуха (ярусовидный слой). Далее, вследствие уменьшения транспирации и последующего нагревания листьев, а также вследствие поглощения лучистой энергии значительно увлажненным воздухом происходит прогревание "подушки" и ее всплывание в виде отдельных масс, связанное со сменой воздуха в слое, занятом ярусовидным образованием.

"Подушка" располагается в основном в пределах около I м от поверхности почвы. Так как некоторое количество пара при образовании "подушки" просачивается в высоту, превышающую I м, для учета этого количества пара необходимо ввести некоторое видоизменение в расчеты, а именно, вместо выражения

$$U = \frac{1}{t_T}\left[L_T\left(e_{cp} - e_{200}\right) + L_p\left(e_0 - e_{10}\right)\right] ,$$

следует применять формулу

$$U = \frac{1}{t_T}\left[L_T\left(e_{cp} - \frac{e_{200} + e_{100}}{2}\right) + L_p\left(e_0 - e_{10}\right)\right] ,$$

где U - испарение в $г/м^2$ мин, e_{cp} - средняя влажность воздуха в $г/м^3$ в слое от I0 см до 2 м, e_{200} то же на высоте 200 см, L_T - высота нижнего приземного яруса, принимаемая за 200 см, L_p - высота припочвенного яруса, равная 3 см, e_0 - влажность, полученная при помощи психрометра, положенного на поверхность почвы.

А.А. Скворцов ввел понятие об эвапорометрическом коэффициенте $K = \frac{U_ф}{U_{ст}}$, представляющем собой отношение фактического испарения с поля ($U_ф$) к испарению со стандартной водной поверхности $U_{ст}$. Этот коэффициент может быть с успехом использован для построения различных расчетных зависимостей. Величины K, определенные по данным наблюдений в дневные часы, являются хорошим показателем влагообеспеченности и состояния растений. В частности, коэффициент K может применяться для оценки действия суховейных явлений [13], установления необходимости полива и для определения прироста растительной массы, клубней картофеля и налива зерна [12].

Формулы Скворцова применимы для расчета испарения в условиях слабого ветра. В дальнейшем возникла необходимость введе-

ния поправки на сильный ветер. Этот вопрос решен нами пока только в первом приближении. Поправка вводится в виде коэффициента в основную расчетную формулу. При скорости ветра у верхнего края растений 3-4 м/сек поправочный коэффициент принимается равным I,5, при скорости ветра 4-5 м/сек - 2,0.

Одновременно, но совершенно независимо от нас, ветровую поправку вывел И.И.Колесник для юга Украины.

ЛИТЕРАТУРА

I. Белухина Г.В.-Фитоклимат яровой пшеницы в условиях орошения на Европейской территории СССР. Труды ЦИП, вып.53,I957.

2. Белухина Г.В.-Фитоклимат кукурузы в условиях Московской области. Труды ЦИП, вып.88, I959.

3. Зуев М.В.-Формирование микроклимата хлопкового поля. Гидрометеоиздат, I956.

4. Конторщиков А.С.-Методические указания, вып.9 (ЦИП), I950.

5. Скворцов А.А.-Об испарении и обмене в приземном слое атмосферы. Труды Ин-та энергетики, вып.I, Ташкент, I947.

6. Скворцов А.А.-К вопросу о теплообмене и влагообмене в приземном слое атмосферы. Труды САГУ ,вып.XXII,физ.-мат. науки, кн.6, I950.

7. Скворцов А.А.,Красницкий Г.А.,Сараев А.С. - О теплообмене и влагообмене над водными поверхностями. Труды САГУ, Новая серия, вып. VIII, физ.-мат.науки, кн. II, I954.

8. Филина Н.А.-Элементы радиационного и теплового баланса хлопкового поля. Труды САГУ, Новая серия, вып. VIII, физ.-мат.науки, кн.II, I954.

9. Цубербиллер Е.А.-Совещание по вопросу испарения. Метеорология и гидрология, № 6, I954.

I0. Цубербиллер Е.А.-К вопросу о формировании агроклимата на картофельном поле. Труды ЦИП, вып. 72, I958.

II. Цубербиллер Е.А. и Власова В.А.-К методике агрометеорологического обоснования агротехники возделывания картофеля в Подмосковье. Труды ЦИП, вып.53, I957.

I2. Цубербиллер Е.А.-Агрометеорологическое обоснование некоторых приемов агротехники возделывания картофеля. Труды ЦИП,вып. 98, I954.

I3. Цубербиллер Е.А. и Белухина Г.В.-К методике агрометеорологической оценки суховеев в условиях орошаемого земледелия. Труды ЦИП, вып. 47, I956.

Н.А. Филина отмечает некоторые особенности процесса тепло-и влагообмена, происходящего на хлопковом поле в случаях возникновения дневных инверсий температуры, и указывает способ расчета испарения для этих случаев.

При дневных инверсиях среди растений благодаря транспирации образуется слой - "подушка" влажного и охлажденного воздуха (ярусовидный слой). Далее, вследствие уменьшения транспирации и последующего нагревания листьев, а также вследствие поглощения лучистой энергии значительно увлажненным воздухом происходит прогревание "подушки" и ее всплывание в виде отдельных масс, связанное со сменой воздуха в слое, занятом ярусовидным образованием.

"Подушка" располагается в основном в пределах около I м от поверхности почвы. Так как некоторое количество пара при образовании "подушки" просачивается в высоту, превышающую I м, для учета этого количества пара необходимо ввести некоторое видоизменение в расчеты, а именно, вместо выражения

$$U = \frac{1}{t_T}\left[L_T(e_{cp} - e_{200}) + L_p(e_0 - e_{10})\right],$$

следует применять формулу

$$U = \frac{1}{t_T}\left[L_T\left(e_{cp} - \frac{e_{200} + e_{100}}{2}\right) + L_p(e_0 - e_{10})\right],$$

где U - испарение в г/м^2 мин, e_{cp} - средняя влажность воздуха в г/м^3 в слое от I0 см до 2 м, e_{200} то же на высоте 200 см, L_T - высота нижнего приземного яруса, принимаемая за 200 см, L_p - высота припочвенного яруса, равная 3 см, e_0 - влажность, полученная при помощи психрометра, положенного на поверхность почвы.

А.А. Скворцов ввел понятие об эвапорометрическом коэффициенте $K = \frac{U_\Phi}{U_{ст}}$, представляющем собой отношение фактического испарения с поля (U_Φ) к испарению со стандартной водной поверхности $U_{ст}$. Этот коэффициент может быть с успехом использован для построения различных расчетных зависимостей. Величины K, определенные по данным наблюдений в дневные часы, являются хорошим показателем влагообеспеченности и состояния растений. В частности, коэффициент K может применяться для оценки действия суховейных явлений [13], установления необходимости полива и для определения прироста растительной массы, клубней картофеля и налива зерна [12].

Формулы Скворцова применимы для расчета испарения в условиях слабого ветра. В дальнейшем возникла необходимость введе-

ния поправки на сильный ветер. Этот вопрос решен нами пока только в первом приближении. Поправка вводится в виде коэффициента в основную расчетную формулу. При скорости ветра у верхнего края растений 3-4 м/сек поправочный коэффициент принимается равным I,5, при скорости ветра 4-5 м/сек - 2,0.

Одновременно, но совершенно независимо от нас, ветровую поправку вывел И.И.Колесник для юга Украины.

ЛИТЕРАТУРА

I. Белухина Г.В.-Фитоклимат яровой пшеницы в условиях орошения на Европейской территории СССР. Труды ЦИП, вып.53,I957.

2. Белухина Г.В.-Фитоклимат кукурузы в условиях Московской области. Труды ЦИП, вып.88, I959.

3. Зуев М.В.-Формирование микроклимата хлопкового поля. Гидрометеоиздат, I956.

4. Конторщиков А.С.-Методические указания, вып.9 (ЦИП), I950.

5. Скворцов А.А.-Об испарении и обмене в приземном слое атмосферы. Труды Ин-та энергетики, вып.I, Ташкент, I947.

6. Скворцов А.А.-К вопросу о теплообмене и влагообмене в приземном слое атмосферы. Труды САГУ ,вып.XXII,физ.-мат. науки, кн.6, I950.

7. Скворцов А.А.,Красницкий Г.А.,Сараев А.С. - О теплообмене и влагообмене над водными поверхностями. Труды САГУ, Новая серия, вып. УШ, физ.-мат.науки, кн. II, I954.

8. Филина Н.А.-Элементы радиационного и теплового баланса хлопкового поля. Труды САГУ, Новая серия, вып. УШ, физ.-мат.науки, кн.П, I954.

9. Цубербиллер Е.А.-Совещание по вопросу испарения. Метеорология и гидрология, № 6, I954.

I0. Цубербиллер Е.А.-К вопросу о формировании агроклимата на картофельном поле. Труды ЦИП, вып. 72, I958.

II. Цубербиллер Е.А. и Власова В.А.-К методике агрометеорологического обоснования агротехники возделывания картофеля в Подмосковье. Труды ЦИП, вып.53, I957.

I2. Цубербиллер Е.А.-Агрометеорологическое обоснование некоторых приемов агротехники возделывания картофеля. Труды ЦИП,вып. 98, I954.

I3. Цубербиллер Е.А. и Белухина Г.В.-К методике агрометеорологической оценки суховеев в условкях орошаемого земледелия. Труды ЦИП, вып. 47, I956.

Д.Л. Розенштох, канд.техн.наук
(АФИ, Ленинград)

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ИСПАРЕНИЯ ПО МЕТОДУ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА

Метод теплового баланса является наиболее предпочтительным для определения испарения с подстилающей поверхности ввиду своей точности и строгих теоретических обоснований, лежащих в его основе. Существенным является также универсальность метода теплового баланса в смысле независимости методики измерений от типа подстилающей поверхности. Тем не менее определение испарения по методу теплового баланса имеет в настоящее время ограниченное распространение ввиду значительной трудоемкости измерений.

Использование современных средств автоматики и вычислительной техники, а также разработка и усовершенствование целого ряда приборов, дающих возможность автоматически регистрировать первичные измеряемые величины, позволили создать устройство, автоматически и непрерывно регистрирующее испарение наряду с целым комплексом других важных метеорологических элементов [I].

Устройство моделирует теоретическую зависимость метода теплового баланса, связывающую испарение с измеренными величинами радиационного баланса, потока тепла в почву и градиентов температуры и влажности воздуха. Устройство осуществляет непрерывную регистрацию в линейном масштабе величин составляющих теплового баланса (затрата тепла на испарение, турбулентный поток тепла, радиационный баланс и поток тепла в почву), коэффициента турбулентного обмена и градиентов температуры и влажности воздуха. Компоненты теплового баланса, кроме того, интегрируются по времени.

Для измерения входных величин применены датчики, позволяющие осуществить это измерение автоматическим путем, причем сигнал на выходе каждого датчика меняется линейно с измеряемой этим датчиком величиной.

Датчиком радиационного баланса является радиационный балансомер термоэлектрического типа, приемные поверхности которого покрыты полусферическими колпаками из полиэтиленовой пленки. Применение полиэтиленовых фильтров дает возможность исключить изменения теплоотдачи приемных поверхностей балансомера с ветром. Оптические свойства полиэтилена обеспечивают весьма удовлетворительную регистрацию радиационного баланса в широком спектральном диапазоне изменения компонент радиационного баланса.

Для непосредственного измерения потока тепла в почву применен термоэлектрический тепломер, представляющий собой пластину из теплоизоляционного материала с системой дифференциальных термопар, с помощью которых определяется перепад температур по толщине пластины.

При соответствующем выборе размеров пластины тепломера и ее термических характеристик можно с достаточной точностью измерять тепломером тепловые потоки в довольно широком диапазоне вариаций термических характеристик почвы [2].

Использование полупроводниковых термосопротивлений, включенных в дифференциальную мостовую схему, позволяет непосредственно получить электрические сигналы, пропорциональные градиентам температуры и влажности воздуха. Измерение градиента влажности осуществляется по психрометрической методике с применением двух сухих и двух смоченных термометров сопротивления.

Структура формул метода теплового баланса, связывающих величины радиационного баланса, потока тепла в почву и градиентов температуры и влажности воздуха с искомыми величинами турбулентных потоков тепла и влаги и коэффициента турбулентного обмена, позволяет использовать в качестве вычислительного устройства устройство для определения отношения произведения двух величин к третьей. Это устройство базируется на принципе автоматически балансирующейся мостиковой счетно-решающей схемы.

Устройство осуществляет временную развертку величины турбулентных потоков тепла и влаги, коэффициента турбулентного обмена, а также величин радиационного баланса, потока тепла в почву и градиентов температуры и влажности воздуха с регистрацией их на ленточной диаграмме. Кроме того, составляющие теплового баланса интегрируются по времени за интервалы от 6 минут до нескольких месяцев.

Применение логической релейной схемы, определяющей знак результирующих величин в зависимости от комбинации знаков входных сигналов, дает возможность регистрировать инверсии турбулентных потоков.

Оценка принципиальной, трансформированной и инструментальной ошибок устройства свидетельствует о возможности достаточно точного измерения величин потоков и коэффициента турбулентного обмена в бóльшую часть суток. Выбранная частота измерения (10 раз в час) позволяет свести к минимуму случайную ошибку измерения искомых величин при определении их интегральных значений за периоды порядка суток и менее.

Проведенные в 1960 г. испытания устройства в условиях Таджикской и Украинской ССР показали, что величины испарения турбулентного потока тепла и коэффициента обмена, а также величины радиационного баланса, потока тепла в почву и градиентов температуры и влажности воздуха, измеренные с помощью устройства, оказались в хорошем согласии с таковыми, полученными другими независимыми методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розеншток Ю.Л. - Автоматическое определение коэффициента турбулентного обмена и турбулентных потоков тепла и водяного пара. Метеорология и гидрология, № 8, 1961.
2. Каганов М.А., Розеншток Ю.Л. - О точности измерения тепловых потоков с помощью термоэлектрических термометров. Инженерно-физический журнал, № 3, 1960.

С.Ф. Федоров, канд.техн.наук
(ВНИГЛ ГГИ, Валдай)

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЛЕСА

В настоящем сообщении кратко рассмотрены результаты исследования испарения с леса по материалам наблюдений Валдайской научно-исследовательской гидрологической лаборатории.

Для определения испарения и транспирации в условиях леса существует несколько принципиально различных методов: водного баланса, весовой, теплового баланса, турбулентной диффузии и биофизический.

В последние годы на лесном опытном участке ВНИГЛ производятся наблюдения над всеми основными гидрометеорологическими элементами, использование которых позволит дать количественную оценку испарения и транспирации почти всеми перечисленными методами. Здесь раньше всего были начаты воднобалансовые наблюдения и наблюдения над испарением с использованием весового метода с его разновидностью - метода гидростатического взвешивания. С 1957 г. на экспериментальном водосборе лога Таежного Лабораторией лесоведения АН СССР ведутся исследования по разработке биофизического метода определения транспирации применительно к еловому древостою. В связи с вводом в эксплуатацию лесной градиентной установки с 1959 г. начаты исследования испарения с леса методами теплового баланса и турбулентной диффузии.

Весовой метод используется для определения испарения под пологом леса. При этом применяются испарители типа ГГИ-500-50 и ГГИ-Б-1000. Для рационального размещения их под пологом леса использовалась геоботаническая карта водосбора[x)].

Изучение суточного хода испарения и транспирации проводится на установке лесных гидравлических испарителей, заряженных почвенными монолитами с единичными деревьями. Результаты исследования суточного хода испарения и транспирации, а также испарения под пологом леса детально рассмотрены в работах [12, 13]; здесь приводятся лишь некоторые общие выводы. Так, характер суточного хода испарения и транспирации не зависит от видового состава растений и одинаков как для древесной, так и для травянистой растительности. Изменение суточного хода в течение сезона, а также из года в год находится в полном соответствии с изменением соотношения запаса тепла и влаги в отдельные периоды.

---

x) Геоботаническая карта водосбора лога Таежного составлена мл. научным сотрудником Лаборатории лесоведения АН СССР А.А. Матвеевой.

На данной стадии исследования наиболее разработанной схемой определения испарения и транспирации является метод водного баланса. При этом возможно пользоваться двумя приемами расчета. Первый путь предполагает определение испарения и транспирации из уравнения водного баланса, составленного для всего водосбора.

Второй путь заключается в использовании данных наблюдений на лесных воднобалансовых площадках. Последние рассматриваются как индикаторные участки для всего лесного массива водосбора лога Таежного. Основанием для этого является однородность лесорастительных и гидрогеологических условий на воднобалансовых площадках и на водосборе.

Как показывает анализ элементов водного баланса, второй путь определения испарения является более предпочтительным, так как основывается на детальных исходных материалах наблюдений.

Уравнение водного баланса для расчета испарения применительно к воднобалансовой площадке может быть записано в следующем виде:

$$Z = U_н + X - У - П - U_к ,$$

где Z - валовый расход влаги на испарение, представляющий собой суммарные потери на испарение под пологом леса ($E_п$), транспирацию древостоем ($E_т$) и испарение осадков, задержанных кронами деревьев ($E_з$), X - осадки, $У$ - суммарный сток, $П$ - просачивание, $U_н$ и $U_к$ - начальная и конечная величины влагозапасов.

Величина транспирации может быть определена из аналогичного уравнения:

$$E_т = U_н + X_п - У - E_п - П - U_к ,$$

где $X_п$ - осадки под пологом леса.

Все члены, входящие в правую часть уравнений, за исключением просачивания, определяются путем непосредственных измерений на воднобалансовой площадке. Осадки измерялись по осадкомерам, расположенным на поляне у воднобалансовых площадок и под пологом леса. Влагозапасы определялись до уровня грунтовых вод один раз в месяц. При этом определение их ниже уровня грунтовых вод производилось по величине полной влагоемкости и тем самым учитывалось изменение подземной аккумуляции. Сток регистрировался непрерывно с помощью самописца "Валдай". Просачивание в глубокие слои через относительный водоупор учитывалось по схеме И.С. Васильева. При этом были использованы коэффициенты водоотдачи, рассчитанные О.И.Крестовским.

Анализ результатов определения испарения и транспирации на воднобалансовых площадках и установках лесных гидравлических испарителей [12,13] показывает, что величины испарения, в основ-

ном, определяются соотношением тепла и влаги. Однако наряду с этим отчетливо прослеживается также влияние гидрогеологических,почвенных и лесорастительных условий. Остановимся на роли некоторых из этих факторов.

При сравнительно близком стоянии уровня грунтовых вод и, особенно, при длительном затоплении корневой системы древостоя и травостоя происходит существенное нарушение воздушного режима почво-грунтов. В этих случаях почвенная толща испытывает большой недостаток в кислороде и создаются условия для развития интенсивных анаэробных процессов [9].

На лесной водобалансовой площадке № 4 ввиду слабого ее дренирования при уровне 40-60 см все жизнедеятельные корни древостоя находятся полностью в зоне капиллярной каймы или в затопленном состоянии. Это приводит к тому, что заметно снижается транспирация и испарение.

При глубине залегания уровня грунтовых вод в пределах 100-140см имеют место наиболее благоприятные условия для транспирации и испарения, так как капиллярная кайма как бы подпитывает, но не подтапливает зону активных корней древостоя, а в почво-грунтах обеспечивается наиболее благоприятный воздушный режим. В этом случае интенсивность транспирации и испарения зависит только от прихода тепла.

При исключительно низком стоянии уровня грунтовых вод (140--160 см) капиллярная кайма отрывается от зоны сосущих корней,сосредоточенных почти на 90% в верхнем 30-сантиметровом слое почво-грунтов, и приток влаги к ним затрудняется. Этим , по-видимому, и объясняются исключительно малые величины транспирации в июле и августе 1959 г. На графике уровня грунтовых вод (рис. 1) видно, что в 1959г. после высокого зимнего и весеннего стояния, начиная с 20/IУ и почти до 20/IX,наблюдался непрерывный спад уровня грунтовых вод с 22 до 190 см. В течение мая-июня уровень понизился с 55 до 145 см и соответствовал наилучшим условиям испарения. В июле-августе продолжалось дальнейшее его понижение от 145 до 185 см. В этот период влажность почвы в метровом слое уменьшилась почти до 60% от полевой влагоемкости. Поэтому наблюдался исключительно низкий уровень транспирации и испарения. Месячные величины транспирации составили в июле и в августе всего 13 и 15 см, что в два-три раза меньше средних величин за эти же месяцы.

Анализ месячных величин транспирации и испарения с леса, полученных по водобалансовой площадке № 3, показывает, что, в отличие от водобалансовой площадки № 4, из-за хороших условий дренирования почвенного профиля здесь не имело места отрицательное влияние избы-

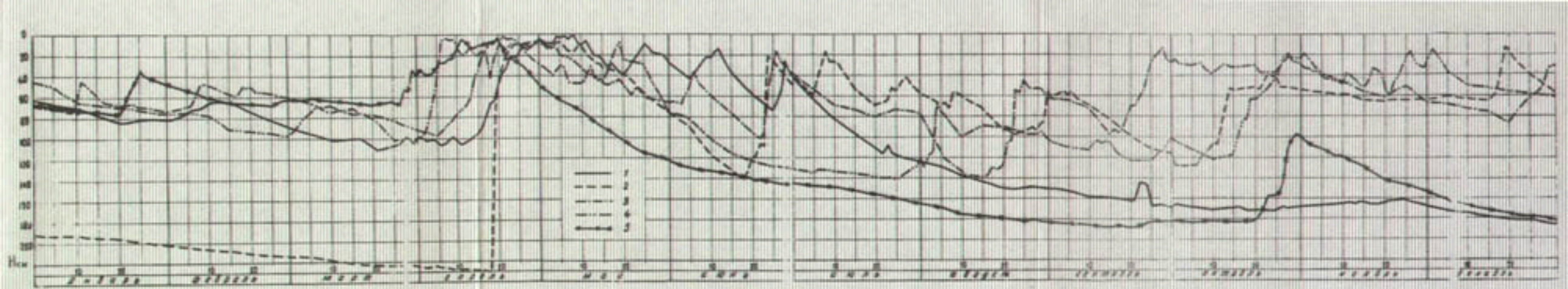


Рис. I. График колебания уровня грунтовых вод (H) на лесной водобалансовой площадке № 4. I - 1955 г., 2 - 1956 г., 3 - 1957 г., 4 - 1958 г., 5 - 1959 г.

точного увлажнения на транспирацию и испарение даже в годы с сольшим количеством осадков (1956 и 1957 гг.). Более того, в эти годы испарение и транспирация древостоя на водноблансовой площадке № 3 существенно больше, чем на площадке № 4. В засушливый летний сезон 1959 г. на площадке № 3, представленной в верхней толще супесчаными грунтами, величины валового расхода влаги на испарение и транспирацию оказались относительно меньше, чем на площадке № 4, где почвенный профиль представлен почво-грунтами более тяжелого механического состава. Разница в величинах валового расхода влаги на испарение и транспирацию на указанных площадках составила соответственно 15 и 10%.

В годы с оптимальным водным и тепловым режимом (1958 г.) величины испарения и транспирации, полученные по водноблансовой площадке № 3, были соответственно на 19 и 12% больше, чем на площадке № 4.

Анализ результатов расчета испарения и транспирации по данным водноблансовых площадок № 3 и 4 показал, что в одном и том же типе леса (ельнике-кисличнике) на отдельных его участках в зависимости от особенностей почвенных и гидрогеологических условий можно ожидать определенное различие в расходе влаги на транспирацию и испарение. Это означает, что при количественной оценке испарения с леса не следует ориентироваться на результаты единичных измерений и на единичные опытные площадки, а необходимо основываться на данных, полученных с учетом всего комплекса лесорастительных, почвенных и гидрогеологических условий.

Испарение и транспирация с леса

По данным подсчета месячных величин испарения и транспирации на водноблансовых площадках № 3 и 4, как на индикаторных участках, произведена количественная оценка расхода влаги на испарение и транспирацию для всего водосбора лога Таежного.

Соответствующие данные оценки характеристик испарения приводятся в табл. I в виде осредненных за 6 лет месячных величин. Результаты анализа полученных данных явились основанием для следующих выводов.

I. Наибольшие величины валового расхода влаги на испарение, транспирацию, а также на испарение под пологом леса наблюдаются в июле. Общий характер изменения этих величин в годовом ходе хорошо согласуется с колебаниями гидрометеорологических элементов.

2. Среднемноголетнее значение валового расхода влаги на ис-

парение за май-сентябрь равно 387 мм, минимальное – 334 мм(в засушливом 1959 г.) и максимальное – 424 мм (во влажном 1956 г.).

3. В среднем за шестилетний период суммарное испарение под пологом леса составило за сезон 114 мм и колебалось в пределах от 102 до 125 мм.

4. Среднее значение осадков, задержанных кронами деревьев, равно 103 мм. Это количество осадков, испаряясь непосредственно с крон деревьев, увеличивает расход влаги на испарение и транспирацию с леса на 27%.

5. Транспирация равна 172 мм за сезон, или 44% от валового расхода влаги на испарение с леса. В целом за шестилетний период транспирация изменялась от 124 (в засушливом 1959 г.) до 208 мм (во влажном 1956 г.). Если иметь в виду, что непосредственно с древостоя происходит также и физическое испарение осадков, задержанных кронами деревьев, то общие потери влаги на испарение с древостоя за период май-сентябрь составят 275 мм, что соответствует 71% от валового расхода влаги на испарение с лесного массива.

Таблица 1

Средние за 1955-1960 гг. величины валового расхода на испарение с леса $\bar{Z}$, транспирации $E_т$, испарения под пологом леса $E_п$ и осадков, задержанных кронами деревьев $E_з$, в мм

Характеристика	V	VI	VII	VIII	IX	V-IX
$\bar{Z}$	64	94	99	72	59	390
$E_т$	27	44	48	27	25	172
$E_п$	19	28	31	22	14	115
$E_з$	18	22	20	23	20	103

Количественная оценка испарения с леса методами теплового баланса и турбулентной диффузии

По данным наблюдений над распределением метеорологических элементов и радиационным балансом на лесной градиентной установке был выполнен расчет испарения с леса методом теплового баланса и турбулентной диффузии. При использовании метода турбулентной диффузии в основу методики расчета положена схема, разработанная А.Р. Константиновым. Первые результаты расчета испарения с леса по этой схеме приведены в работе [4]. Анализ их показал, что расчетные формулы применительно к лесу требуют еще уточнения.

Ниже рассматриваются затраты тепла на испарение LE и величины турбулентного теплообмена P , рассчитанные по методу теплового баланса.

При этом теплообмен деятельного слоя B , представляющий суммарную величину теплообмена в почвенном слое и изменение теплосодержания в биомассе, подсчитывался по схеме, предложенной Ю.Л. Раунером [10].

Расчет величин испарения и турбулентного теплообмена производился по данным наблюдений, осредненным по пятидневкам. Разности температуры Δt (град.) и Δe (мб) вычислены по наблюдениям на высотах 22 и 32 м. В табл. 2 приведены средние суточные суммы составляющих теплового баланса, рассчитанные по материалам наблюдений в 1960 г. Кроме того, для отдельных суточных серий наблюдений был произведен расчет суточного хода испарения и турбулентного теплообмена леса с атмосферой.

Таблица 2

Среднесуточные суммы составляющих теплового баланса деятельной поверхности, в ккал/см^2

Период	R	LE	E мм/сут	P	B
II-I5/У	0,27	0,I5	2,6	0,II	0,0I
I6-20/У	0,38	0,27	4,5	0,I6	-0,05
I-5/УI	0,39	0,22	3,7	0,I9	-0,02
6-I0/УI	0,34	0,25	4,I	0,08	0,0I
II-I5/УII	0,37	0,I9	3,I	0,I8	0,00
I6-20/УII	0,33	0,2I	3,6	0,I2	0,00
6-I0/УIII	0,25	0,II	I,9	0,09	0,05
2I-25/УIII	0,I7	0,I2	2,0	0,06	-0,0I

Из анализа материалов наблюдений следует, что величина турбулентного теплообмена и затрата тепла на испарение имеют хорошо выраженный суточный ход с максимумом в дневные часы. Величины турбулентного теплообмена в периоды с преобладанием пасмурной погоды в 2-3 раза меньше, чем в сухую ясную погоду.

Наибольшие значения испарения наблюдались в теплые периоды после осадков, когда радиационный баланс относительно велик, а величина турбулентного потока значительно меньше, чем в сухую погоду.

Из полученных данных также следует, что в условиях Валдая затраты тепла на испарение в фазу интенсивной вегетации (май-июнь), даже в условиях сухой погоды, значительно выше величин турбулент-

ного теплообмена. В отдельные периоды затраты тепла на испарение превышают турбулентный теплообмен в 2-3 раза. При этом затраты тепла на испарение в среднем составляют около 60% от радиационного баланса, а величина турбулентного теплообмена колеблется от 25 до 50%. В конце периода интенсивной вегетации, в условиях сухой погоды, величины турбулентного теплообмена равны или даже несколько превосходят затраты тепла на испарение.

Соотношение испарения в лесу и поле

В связи с количественной оценкой гидрологической роли леса значительный интерес представляет соотношение испарения в лесу и в поле. Это удобно рассматривать по значениям испарения в экстремальные годы.

Анализ результатов наблюдений показывает, что во влажные и теплые сезоны отмечаются несколько бо́льшие величины испарения в поле, чем в лесу; в засушливые годы это соотношение, как правило, имеет обратный знак. Если засушливые или очень влажные сезоны повторяются подряд, то на второй год испарение с леса может быть меньше, чем с поля (табл. 3).

Таблица 3

Испарение с полевого и лесного водосборов, в мм

Год		IУ	У	УI	УП	УШ	IX	X	XI-Ш	Год
1955	поле с	I3	65	94	87	60	43	I5	20	397
	лес с	8	67	95	II2	63	63	35	20	463
1956	поле в	I5	77	I20	8I	65	49	24	20	45I
	лес в	I0	78	II9	97	74	56	35	I5	484
1957	поле в	23	90	I00	II6	78	57	2I	I0	495
	лес в	I8	68	80	II2	8I	7I	40	I0	480
1958	поле в	I4	7I	80	90	6I	5I	25	24	4I6
	лес в	I5	64	88	II0	73	5I	43	20	464
1959	поле с	30	66	88	74	65	39	20	20	402
	лес с	30	55	90	67	63	59	36	20	420
1960	поле с	35	92	I0I	I00	52	35	I5	20	450
	лёс с	30	57	94	I02	79	37	26	20	445
Среднее	поле	22	77	97	9I	64	45	20	I9	435
	лес	I8	65	94	I00	72	56	36	I8	459

Примечание. Индексами „с" и „в" обозначены сухие и влажные годы.

Из рассмотрения месячных и сезонных величин испарения в условиях леса и поля вытекают следующие выводы.

В весенний период испарение с леса, как правило, меньше, чем с поля. Разница в мае в среднем за 6 лет составляет около 15%.

В августе-сентябре наблюдается обратное соотношение, а именно, испарение с леса в среднем на 15% больше, чем с поля. Такое соотношение в величинах испарения обусловлено особенностями теплообмена на облесенном и открытом водосборах в указанные периоды.

В июне средние величины испарения в лесу и в поле практически одинаковы. В отдельные годы в этих величинах обнаруживается ощутимая разница, которая зависит от увлажненности предшествующего месяца. В июле испарение с леса, как правило, больше, чем с поля, что объясняется бо́льшими запасами влаги в почво-грунтах в лесу по сравнению с полем.

В зимние месяцы величины испарения с леса и поля приняты одинаковыми.

Годовой расход влаги на испарение с леса и поля в среднем за шестилетний период составил соответственно 459 и 435 мм, т.е. испарение с леса оказалось на 5% больше, чем с поля.

Произведем теперь оценку величины испарения с суши для территории в районе Валдая. Если принять во внимание, что лес занимает здесь примерно 55% площади, сельскохозяйственные поля-около 20-22%, а остальная площадь занята лугами, болотами, озерами, балками и оврагами, населенными пунктами, дорогами и т.д., можно считать, что средневзвешенное значение испарения для этой территории составляет около 440 мм. Заметим, что норма испарения по карте изолиний П.С. Кузина [6] для района Валдая оценивается в 400 мм. Если учесть, что при составлении карты не учитывалось занижение осадков на сети станций на 9% [2, 12], то получим почти полное совпадение величин испарения по данным ВНИГЛ и по карте изолиний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев И.С.-Водный режим подзолистых почв. Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева, т. XXXП, 1950.
2. Голубев В.С.-Об учете дождевых осадков различными приборами. Труды ГГИ, вып. 81, 1960.
3. Константинов А.Р.-Основы методики расчета испарения в естественных условиях. Труды ГГИ, вып. 48, 1955.
4. Константинов А.Р., Федоров С.Ф.-Опыт применения градиентных мачт для определения испарения и теплообмена в лесу. Труды ГГИ, вып. 81, 1960.

5. Крестовский О.И.–Грунтовое питание малых водотоков в период весеннего половодья. Труды ГГИ, вып. 81, 1960.
6. Кузин П.С. –Испарение с поверхности суши на территории СССР.Труды ГГИ, вып. 26, 1950.
7. Кузьмин П.П.–К методике исследования и расчета испарения с поверхности снежного покрова. Труды ГГИ, вып. 41, 1953.
8. Молчанов А.А.–Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах. Изд. АН СССР, 1952.
9. Орлов А.Я.–Влияние почвенных факторов на основные особенности некоторых типов леса. Бюллетень О-ва исп. природы, Отд. биологии, т. X (3), М, 1960.
10. Раунер Ю.Л.–Некоторые результаты теплобалансовых наблюдений в лиственном лесу. Изв. АН СССР, сер. географ., № 5, 1958.
11. Урываев В.А.–Экспериментальные гидрологические исследования на Валдае. Гидрометеоиздат, 1953.
12. Федоров С.Ф.–Влияние леса на водный баланс малых водосборов . Труды ГГИ, вып. 95 (находится в печати).
13. Федоров С.Ф.–Испарение в условиях леса. Труды ГГИ, вып. 59 , 1956.
14. Хильми Г.Ф.–Теоретическая биогеофизика леса. Изд. АН СССР, М, 1957.

С.А. Анарбаев, Ф.М. Рахимбаев, С.Б. Строкович,
инженеры (Узбекский гидрогеологический трест, Ташкент)

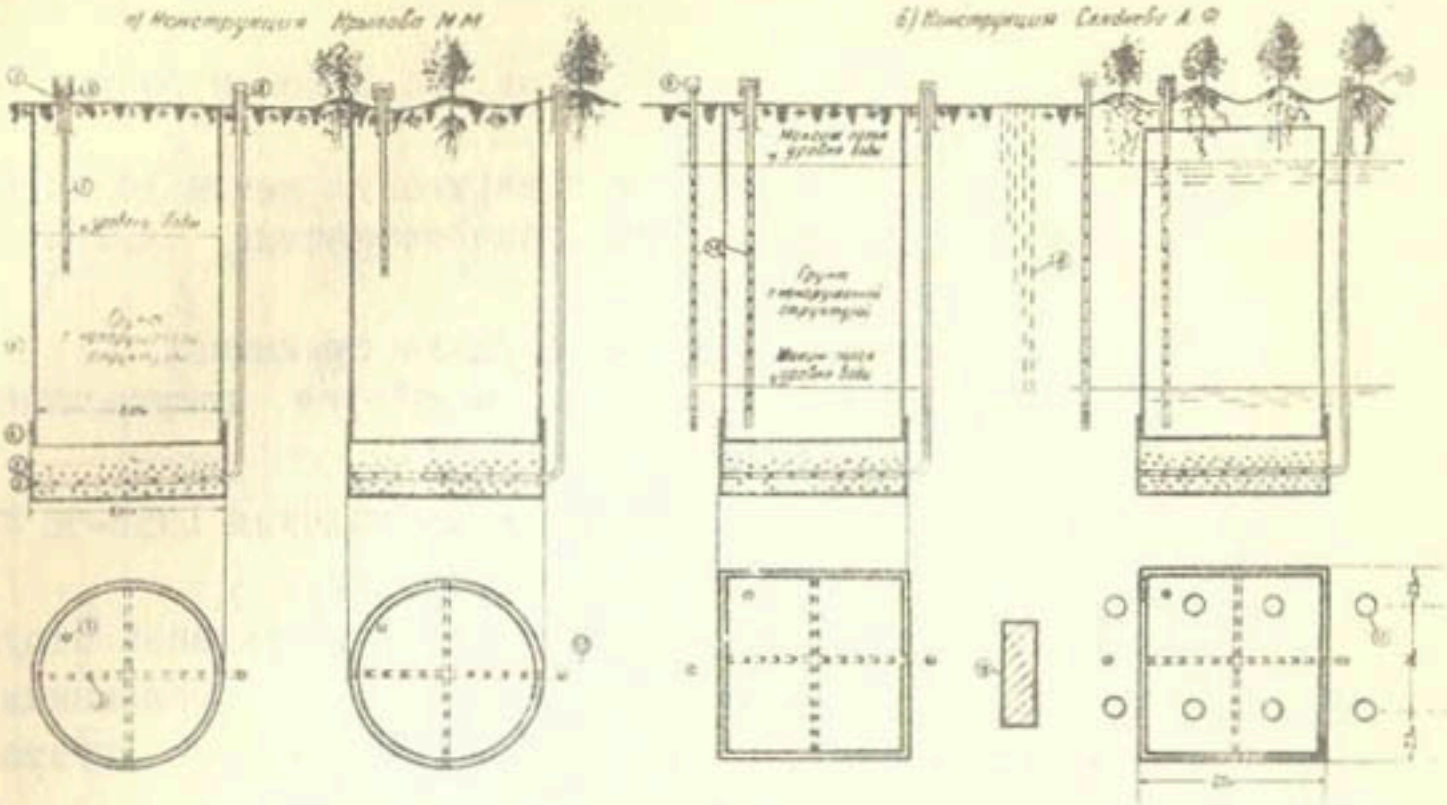
О МЕТОДАХ ИЗУЧЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ И ТРАНСПИРАЦИИ НА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ ГЛАВГЕОЛОГИИ УЗБЕКСКОЙ ССР

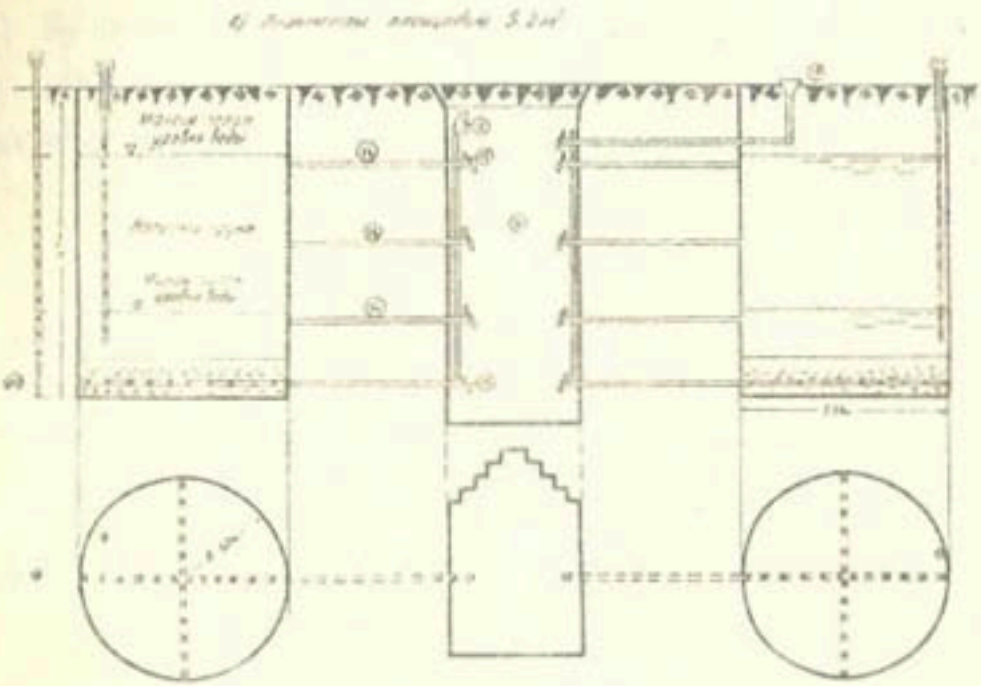
Для решения многих теоретических и практических вопросов гидрогеологии важно знать не только суммарное испарение с той или иной площади земной поверхности, но и испарение грунтовых вод, залегающих вблизи земной поверхности. Это необходимо как для балансовых расчетов, связанных с мелиорацией засоленных почв, так и для изучения процессов формирования грунтовых вод. Вместе с тем мы до сих пор не располагаем достаточно удовлетворительными методами прямого количественного учета этой статьи баланса грунтовых вод.

В практике работ гидрогеологических станций, находящихся в ведении Главгеологии УзССР, широкое применение для количественной характеристики испарения грунтовых вод и почвенной влаги из зоны аэрации получили лизиметрические методы (рис. I). Эти работы в течение ряда лет широко ведутся в Бухарском оазисе, в низовьях реки Аму-Дарьи, Ферганской долине, Голодной степи, Сурхан-Дарьинской области и Чирчик-Ангренском бассейне, находящихся в резко различных природных и ирригационно-хозяйственных условиях.

Наибольшим распространением пользуется методика лизиметрических наблюдений за испарением и транспирацией грунтовых вод с постоянным уровнем, введенная в практику гидрогеологических исследований М.М. Крыловым. По этой методике на опытной площадке вкапывается несколько лизиметров, изолированных от окружающей среды. В них путем долива или отлива воды поддерживается постоянный уровень грунтовых вод. Обычно устанавливаются несколько серий лизиметров, различающихся по целевому назначению (лизиметры без растительности, лизиметры с дикой растительностью, с хлопчатником, с люцерной и проч.). Каждая серия состоит из 3-6 лизиметров, отличающихся глубиной, на которой поддерживается постоянный уровень грунтовых вод. В качестве стандартных приняты глубины от 0,5 до 3,0 м с градацией через 0,5 м.

Расход грунтовых вод на испарение и транспирацию определяется по количеству воды, доливаемой в лизиметр для поддержания снижающегося уровня на заданной глубине. Если после дождей или поливов сельскохозяйственных культур, растущих в лизиметре, зеркало во-





1. Кожух лизиметра. 2. Донник лизиметра с гравийной засыпкой, высотой 30 см. 3. Фильтровые трубки. 4. Битум для изоляции. 5. Наблюдательная (контрольная) скважина. 6. Обсадная трубка. 7. Изоляционный слой (деревянные опилки и прочее). 8. Трубка для долива. 9. Скважина для наблюдений за уровнем грунтовых вод на площадке. 10. Фильтр скважин. 11. Наблюдательная камера сечением 1,5 х 1,5 м, глубиной - 5 м. 12. Прибор Мариотта. 13. Кран для регулирования воды в лизиметре. 14. Трубки для наблюдения за уровнем грунтовых вод на глубине 1,2 и 3 м. 15. Стеклянная трубка со шкалой. 16. Осадкомер. 17. Куст хлопчатника. 18. Скважины, из которых отбираются пробы грунта на влажность. 19. Площадка, где производится отбор проб грунта на влажность. 20. Отстойник.

Рис.1. Лизиметры для измерения испарения грунтовых вод, применяемые на гидрогеологических станциях Главгеологии УзбССР.

ды в лизиметре повышается,то производится откачка воды из лизиметров для снижения зеркала грунтовых вод до заданного(постоянного) уровня.

Литологические разрезы почво-грунтов по районам работ характеризуются следующими данными:

I) по низовьям р.Аму-Дарьи - от поверхности земли до глубины 0,7-0,95 м супеси и суглинки, ниже разнозернистые аллювиальные пески;

2) по Голодной степи - пылеватые средние суглинки;

3) по Сурхан-Дарьинской области (периферия конуса выноса р.Ширабат) - легкие и средние суглинки;

4) по ферганской долине - супесчаные(наблюдения I955-56 гг.), легкие и средние суглинки (наблюдения I959-60 гг.).

Все лизиметры были заряжены грунтами с ненарушенной структурой (монолитами), за исключением двух лизиметров с насыпным грунтом в ферганской долине, с глубиной стояния уровня грунтовых вод от поверхности земли, равной 0,7 м.

В табл.I приводятся результаты наблюдений за величиной расхода грунтовых вод на испарение и транспирацию по некоторым районам работ, полученные по лизиметрическим наблюдениям с постоянным уровнем грунтовых вод.

Таблица I

№ п/п	Испаряющая поверхность	Глубина воды, м	Год наблюдений	Величина испарения и транспирации, м³/га за год			Расход грунтовых вод в % от суммарного испарения	Примечание
				грунтовых вод	оросительных вод	суммарное испарение		
		I. Низовье реки Аму-Дарьи						
I	хлопчатник	0,5	I959	76I0	4700	I23I0	6I,8	урожайность хлопчатника в лизиметрах колебалась в пределах от 22 до 45 ц/га
2		I,0	-"-	6653	6500	I3I53	50,6	
3		I,5	-"-	5078	6500	I1578	43,8	
4		2,0	-"-	3284	8600	II884	27,6	
5		2,5	-"-	2396	9I00	II496	20,8	
6		3,0	-"-	35	I0I00	I0I35	0,3	

№ п/п	Испаряющая поверхность	Глубина воды, м	Год наблюдений	Величина испарения и транспирации, $м^3$/га за год			Расход грунт. вод в % от суммарного испарения	Примечание
				грунтовых вод	оросительных вод	суммарное испарение		
I	люцерна 3-го года	0,5	I959	II380	2900	I4280	79,8	Урожайность люцерны (сена) в лизиметрах доходила до 80 ц/га
			I960	II938	2900	I4838	80,5	
2		I,0	I959	I0646	4600	I5246	70,0	
			I960	I02I0	4600	I48I0	68,9	
3		I,5	I959	93I6	4600	I39I6	67,0	
			I960	939I	5I00	I449I	64,8	
4		2,0	I959	8464	6300	I4763	57,3	
			I960	8644	6300	I4944	57,8	
5		2,5	I959	7464	6600	I4064	53,0	
			I960	6478	6800	I3278	48,8	
6		3,0	I959	37	6300	6336	0,6	
			I960	607	7300	7907	7,6	
I	солончак	0,5	I959	4729	-	-	-	
			I960	4737	-	-	-	
2		I,0	I959	3536	-	-	-	
			I960	3242	-	-	-	
3		I,5	I959	2458	-	-	-	
			I960	2405	-	-	-	
4		2,0	I959	I758	-	-	-	
			I960	I892	-	-	-	
5		2,5	I959	I330	-	-	-	
			I960	998	-	-	-	
I	п а р	0,5	I959	3372	-	-	-	
			I960	3093	-	-	-	
2		I,0	I959	2883	-	-	-	
			I960	2232	-	-	-	
3		I,5	I959	23I9	-	-	-	
			I960	I850	-	-	-	
4		2,0	I959	I843	-	-	-	
			I960	I434	-	-	-	
5		2,5	I959	965	-	-	-	
			I960	985	-	-	-	

№№ п/п	Испаряющая поверхность	Глубина воды, м	Год наблюдения	Величина испарения и транспирации, м³/га за год			Расход грунт. вод в % от суммарного испарения	Примечание
				грунтовых вод	оросительных вод	суммарное испарение		
				2. Голодная степь				
I		I,0	I959	28I2	-	-	-	
2		I,5		I457	-	-	-	
3		2,0		845	-	-	-	
				3. Сурхан-Дарьинская область				
	Ангорский участок (периферия конуса выноса р.Ширабад)							
I	Хлопчатник	0,5	I960	I5033	3702	I8735	80,2	
2		I,0		II34I	3939	I5280	74,2	
3		I,5		5322	4035	9357	56,9	
4		2,0		I300	4705	6005	2I,6	
5		2,5		662	4788	5450	I2,2	
I	Перелог без растительного покрова	0,5	I960	I452	-	-	-	
2		I,0		I329	-	-	-	
3		I,5		5I6	-	-	-	
4		2,0		268	-	-	-	
5		2,5		238	-	-	-	
6		3,0		II8	-	-	-	
				4. Ферганская долина				
I	Залежь	0,7	I960	I9I30	-	-	-	
2		I,0		I5028	-	-	-	
3		I,5		5462	-	-	-	
I	Хлопчатник	0,5	I959	I3956	-	-	-	
			I960	I3543	-	-	-	
2		0,7	I959	I0484	-	-	-	
			I960	9053	-	-	-	
3		I,0	I959	97I5	-	-	-	
			I960	9869	-	-	-	
4		I,5	I959	4549	-	-	-	
			I960	37I9	-	-	-	
5		2,4	I960	685	-	-	-	

Урожайность хлопчатника в лизиметрах колебалась от 33 до 47 ц/га

Одновременность наблюдений за испарением и транспирацией грунтовых вод с постоянным уровнем при различной глубине их стояния позволяет использовать эти данные для построения семейства кривых зависимости испарения от глубины уровня грунтовых вод (рис.2), что является большим практическим преимуществом этого метода. Принципиальным недостатком рассматриваемого метода является искаженный режим влажности в зоне аэрации по сравнению с естественным, поскольку уровень грунтовых вод поддерживается постоянным. Весьма вероятно, что в связи с этим обстоятельством полученные результаты могут в какой-то мере отличаться от действительных величин испарения и транспирации в натурных условиях.

Учитывая это, А.Ф. Сляднев предложил иную методику наблюдений, отличающуюся тем, что уровень воды в лизиметре поддерживается не постоянный, а соответствующий наблюдаемому уровню грунтовых вод на площадке, где расположен лизиметр. Однако в этом случае для определения испарения и транспирации требуется учитывать не только количество доливаемой или откачиваемой воды, но и баланс влаги в зоне аэрации, что значительно усложняет опыт. Расчетные схемы при переменном уровне грунтовых вод позволяют определить только общее испарение из зоны грунтовых вод и из зоны аэрации.

Для расчета грунтовых вод на испарение и транспирацию по этому методу из общего периода наблюдений выделяются расчетные периоды, соответствующие однозначному перемещению уровня грунтовых вод (периоды спада и подъема). Сравнивая запасы влаги в балансовом слое, включающем в себя зону аэрации и частично зону грунтовых вод, на начало и конец периода, и учитывая количество воды, добавленной в лизиметр (или изъятой из него), получаем общую потерю воды из балансового слоя на испарение и транспирацию.

На Ферганской гидрогеологической станции производились дополнительные расчеты с выделением части испарения и транспирации, приходящейся на зону грунтовых вод. Для этого составлялись отдельные балансовые расчеты для зоны грунтовых вод, в которых учитывались как общие изменения запасов воды по зонам, так и переходы запасов влаги из одной зоны в другую при колебаниях уровня грунтовых вод.

Водный режим зоны аэрации в лизиметре с переменным уровнем грунтовых вод должен соответствовать водному режиму зоны аэрации на изучаемой площади. Благодаря этому можно рассчитывать, что получаемые данные будут ближе к действительности, чем при постоянном уровне грунтовых вод. Однако, хотя методика А.Ф.Сляд-

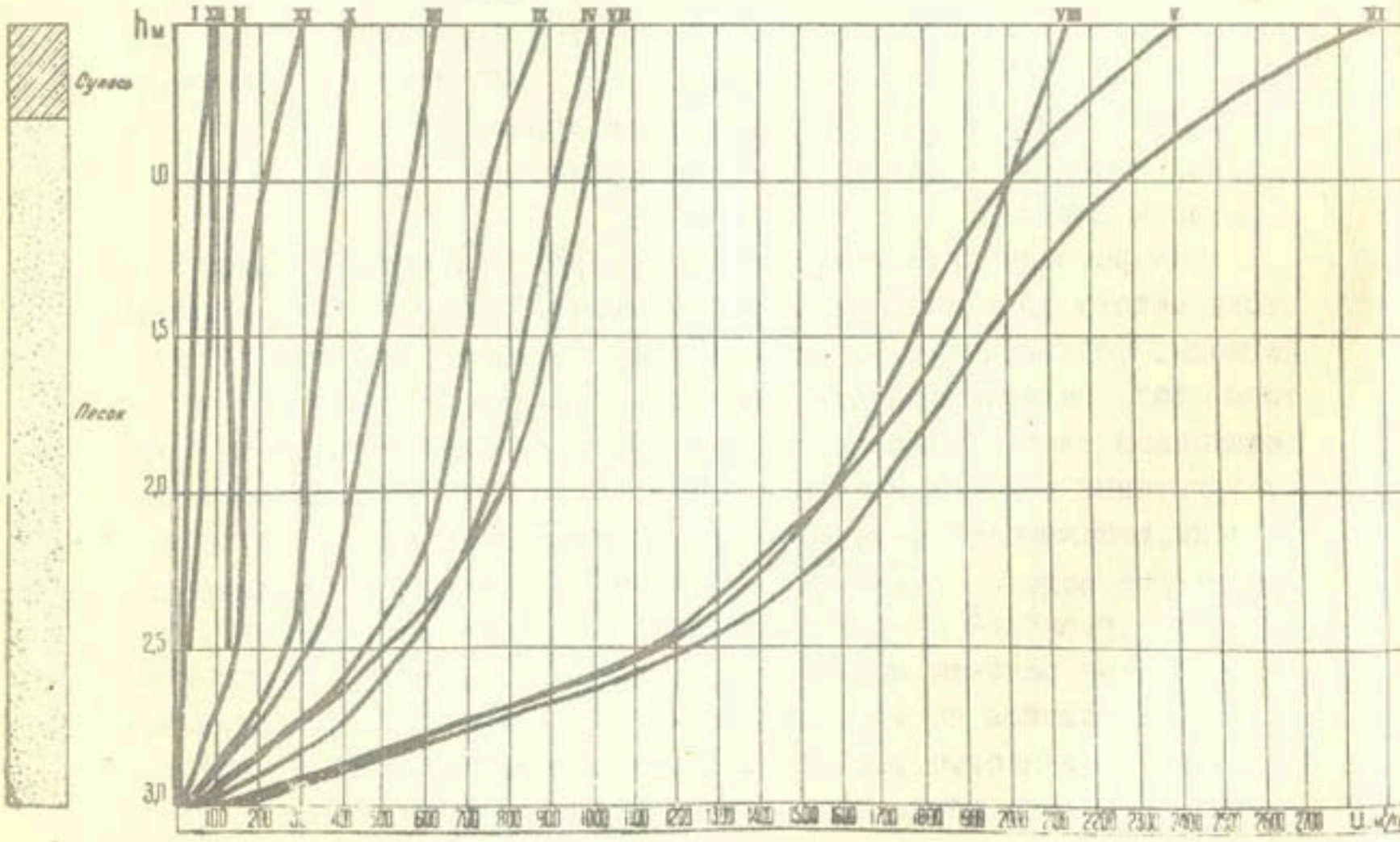


Рис.2. Расход грунтовых вод на испарение и транспирацию на поле с люцерной в 1960 г. (u) в зависимости от глубины стояния уровня грунтовых вод (h).

нева имеет неоспоримые теоретические преимущества; она мало применяется в практике работ гидрогеологических станций. Объясняется это следующими двумя причинами:

I. Характеристика испарения и транспирации дается только для того режима грунтовых вод, который наблюдается на опытной площадке.

Обобщенных показателей, характеризующих зависимость испарения и транспирации от глубины залегания грунтовых вод, на одной площадке не может быть получено. Для этого необходимо иметь группу лизиметров, располагающихся на площадях с различным режимом грунтовых вод, что создает неудобства в организационном отношении и удорожает исследования.

2. По данному методу требуется систематически определять профиль влажности почво-грунта в лизиметре. Путем отбора проб этого нельзя делать, а других надежных способов для засоленных почво-грунтов до последнего времени не было (в настоящее время производятся опыты по применению для этой цели гамма-метода). В связи с этим при постановке опытов в лизиметрах с переменным уровнем влажность почво-грунтов определяется с помощью отбора проб грунта вне лизиметра в расчете на тождественность водного режима в лизиметре и на площадке около него. В действительности же в этом всегда могут быть некоторые расхождения, что должно снижать точность опыта.

Остается неясным, насколько менее точны результаты опытов, полученные по методике М.М. Крылова, и будет ли в связи с этим оправдана замена ее гораздо более сложной методикой А.Ф.Слднева.

Много нерешенных вопросов имеется в целом в опытах с лизиметрами. Укажем на те из них, которые представляются нам более существенными. Лизиметры с постоянным уровнем воды, получившие распространение на гидрогеологических станциях, имеют круглое поперечное сечение с площадью 0,I $м^2$ (рис.I). Для хлопчатника это составляет площадь, приходящуюся на одно растение при обычной норме высева I00 тыс.растений на гектар (при одном растении в гнезде). Лизиметры такого размера легко можно заряжать монолитами грунта, чем и объясняется их внедрение в практику балансовых работ.

На Ферганской гидрогеологической станции применялись лизиметры прямоугольного сечения, площадью 0,2 $м^2$ (0,28 м х 0,7 м), которые тоже заряжались монолитами. В данном случае размер и форма лизиметров были приближены к реальным условиям развития хлопчатника на хозяйственном поле (два растения в одном гнезде).

Однако и в первом и во втором случаях размеры площади лизиметров очень малы. Возникает вопрос: влияет ли это и в какой степени на результаты опытов по определению транспирации и испарения? Наблюдениями, которые могли бы решить этот вопрос, мы не располагаем. В то же время в некоторых случаях лизиметры достигают и бо́льших размеров (I х 2м, 2 х 2м), но заряжают их обычно не монолитами, а грунтом с нарушенной структурой. При этом имеется мнение(например, А.Ф.Сляднева),что через год-два насыпной грунт уплотняется и не отличается от грунта естественного сложения. Однако это может быть справедливо только для бесструктурных грунтов. Наблюдения ферганской гидрогеологической станции на хлопковом поле по лизиметру с насыпным грунтом показали, что испарение грунтовых вод в нем было на I/4-I/3 меньше, чем в лизиметре с монолитом, но такие наблюдения имеют единичный характер.

На Хорезмской гидрогеологической станции, учитывая особенности литологического строения опытного участка, при зарядке лизиметров грунтом применен комбинированный метод. Здесь почво-грунты имеют следующий разрез: 0 - I,0 м - суглинок и супеси, ниже - песок разных фракций. В лизиметры до горизонта связных грунтов почва насыпалась, а выше вставлялся монолит-целик.

Неясно также, в какой мере на результаты опытов влияет материал, из которого сделаны лизиметры (обычно они делаются из листового железа, что искажает термический режим), а также различия в конструктивных особенностях. Следует также отметить,что у исследователей нет однообразия в методике пересчета первичных данных о транспирации, полученных в лизиметрах, на площадь всего балансового участка.

Наряду с лизиметрическими методами, суммарное испарение с поверхности, покрытой растительностью (в том числе на хлопчатнике),изучалось гидрогеологическими станциями по методу градиентных психрометрических наблюдений, разработанному А.А. Скворцовым. Убедительных положительных результатов этим методом не получено.

Из вышеизложенного видно, что до настоящего времени слабо решенными вопросами являются следующие:

I. Установление зависимости расхода грунтовых вод на испарение и транспирацию от площади лизиметра.

2. Установление зависимости расхода грунтовых вод на испарение и транспирацию от геометрических форм лизиметров и схемы их установки.

3. Установление зависимости расхода грунтовых вод на испарение и транспирацию от структуры грунта.

4. Установление зависимости расхода грунтовых вод на испарение и транспирацию от степени их минерализации.

5. Методика наблюдений (по лизиметрам с постоянным или переменным уровнями грунтовых вод).

До последнего времени научными организациями все эти неясные методические вопросы не решались.

Учитывая, что испарение и транспирация грунтовых вод в условиях Узбекистана, как и в других республиках Средней Азии, является основной расходной статьей водного баланса орошаемых районов, Узбекский гидрогеологический трест для решения вышеуказанных вопросов организовал в 1960 г. в совхозе "Малек" Голодной степи в содружестве с институтом ГИДРОИНГЕО АН УзССР опытно-балансовый участок. К настоящему времени на опытном участке установлены 45 лизиметров для решения следующих задач:

1. Для определения зависимости расхода грунтовых вод на испарение и транспирацию от площади лизиметра установлена серия круглых лизиметров, площадью от 0,1 до 5,2 м^2, с нарушенной структурой грунта и постоянным уровнем грунтовых вод.

2. С целью выявления зависимости расхода грунтовых вод на испарение и транспирацию от геометрических форм лизиметров и схемы их установки построены 2 серии лизиметров (круглые и прямоугольные).

3. Для изучения зависимости расхода грунтовых вод на испарение и транспирацию от структуры грунта установлена серия лизиметров с постоянным уровнем грунтовых вод, площадью 0,1 м^2, причем часть лизиметров заряжена монолитом, а часть-грунтом с нарушенной структурой.

4. Для установления зависимости расхода грунтовых вод на испарение и транспирацию от степени их минерализации установлена серия лизиметров с постоянным уровнем грунтовых вод, площадью 0,1 м^2. Степень минерализации доливаемой воды находится в пределах от 1 до 10 г/л.

5. Для выбора методики наблюдений за испарением и транспирацией установлены 4 лизиметра с ненарушенной структурой грунта. Причем в трех лизиметрах с постоянным уровнем грунтовых вод горизонт воды поддерживается на глубине 0,5; 1,5 и 2,5 м, а в одном лизиметре уровень воды поддерживается по ходу режима грунтовых вод опытной площадки.

В настоящее время в лизиметрах ведутся наблюдения за испарением грунтовых вод, транспирацией хлопчатником и люцерной, а

на опытной площадке–за климатическими условиями. Помимо указанного, в 1961 г. организуются работы по проведению наблюдений за температурой почво-грунтов и грунтовых вод, а также за влажностью (гамма-методом) и засоленностью почво-грунтов в лизиметрах и за пределами их.

В 1962-1963 гг. намечается определять испарение и транспирацию методом теплового баланса.

Наряду с изучением расхода грунтовых вод на испарение и транспирацию на опытном участке "Малек" в ближайшее время будут проведены подсчеты баланса грунтовых вод различными методами с целью рекомендации наиболее приемлемых из них для орошаемых районов Узбекистана.

Д.М. Кац, д-р геол.-мин. наук
(ВСЕГИНГЕО, Москва)

ИСПАРЕНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ПУСТЫННОЙ ЗОНЫ

Важнейшей особенностью условий формирования грунтовых вод в аридной зоне является преобладание испарения грунтовых вод над питанием за счет атмосферных осадков. Эта закономерность для недренированных и слабодренированных районов, наиболее сложных в мелиоративном отношении, дополняется второй,не менее важной особенностью - преобладанием испарения грунтовых вод над подземным оттоком.

Составляя основу расходной части баланса грунтовых вод, испарение является важнейшим фактором их формирования.

Несмотря на важное значение количественная характеристика испарения грунтовых вод как в отечественной, так и в зарубежной практике гидрогеологических исследований до последних лет еще не получила необходимого освещения. В большинстве опубликованных работ испарение и транспирация обычно характеризуются как статьи общего водного баланса.

Исследования, послужившие материалом для данной статьи,проведены автором на Бухарской гидрогеологической станции в I954--I958 гг., в пределах субаэральной дельты р. Зеравшан.

В качестве метода исследований принят лизиметрический.

Лизиметры имеют цилиндрическую форму, площадь сечения 0,I м^2, заряжены монолитами агроирригационных суглинков, сплошным чехлом покрывающих аллювиальные отложения р.Зеравшан в Бухарском оазисе. По механическому составу суглинки изменяются от средних до тяжелых с содержанием пылеватой фракции (0,05-0,005 мм) в пределах 50-60%. Нередки линзы супеси, мелко и тонкозернистых песков. Пористость суглинков 39-46%, объемный вес скелета грунта I,35-I,65, максимальная молекулярная влагоемкость I5-I7%.

Конструкция лизиметров сравнительно проста. Через питательную трубку, подведенную снаружи к гравийной подушке, выстилающей дно лизиметра, подается вода для поддержания заданного постоянного уровня; количество ее измеряется. Положение уровня проверяется путем замеров в контрольной скважине внутри лизиметра.

При изучении транспирации культурными растениями, последние поливались оросительной водой по принятому в Бухарском оазисе режиму орошения. Химический состав грунтовых вод, использованных

Таблица I

Метеорологические условия Бухарского оазиса в 1954-1958 гг.

Метеостанция Бухара

Месяц	Температура воздуха, °С					Осадки, мм					Относительная влажность воздуха, %					Дефицит влажности воздуха, мб				
	1954	1955	1956	1957	1958	1954	1955	1956	1957	1958	1954	1955	1956	1957	1958	1954	1955	1956	1957	1958
I	0,9	0,9	-0,7	-3,8	4,6	21,2	0	36,7	18,3	23,1	85	68	79	88		1,3	3,2	2,2	1,5	2,3
II	-0,2	6,6	1,7	0,2	5,8	22,6	0,8	34,3	9,4	0,7	84	61	76	78		1,5	5,4	2,6	5,5	4,5
III	3,5	8,3	7,0	8,5	10,5	28,7	27,0	33,4	13,6	28,3	85	72	75	66		2,4	3,6	3,2	5,1	5,4
IУ	15,8	14,1	17,4	13,7	15,0	28,5	8,6	42,6	20,4	60,3	75	50	63	51	71	7,1	10,7	8,8	9,0	6,8
У	21,7	22,1	22,3	21,8	20,0	0	17,1	10,2	3,6	44,3	43	42	46	40	49	16,5	17,4	16,2	17,5	14,4
УI	23,9	26,8	24,5	25,7	27,1	0	0	0	1,2	0	43	38	40	43	39	17,6	24,4	22,0	21,2	24,4
УII	27,4	27,9	28,6	26,1	28,0	0	0	0	1,2	0	46	41	39	40	38	22,5	24,8	22,6	22,4	26,8
УIII	24,6	26,0	24,7	24,7	25,4	0	0	0	0	0	50	48	33	41	46	17,6	19,9	20,0	20,4	18,8
IX	18,6	19,3	18,7	19,6	18,8	0	0	0	0	0	54	46	48	44	47	11,4	14,2	12,5	15,4	13,8
X	13,0	11,2	12,3	11,8	12,6	0	0,6	0	15,7	1,1	58	50	51	65	49	7,9	8,5	9,2	7,2	9,0
XI	3,9	8,7	7,9	5,3	1,9	0,3	0,9	5,8	8,6	4,8	68	55	57	69		4,6	6,7	6,5	4,0	3,2
XII	0,3	4,5	-0,2	3,4	3,7	4,7	20,8	19,9	26,5	21,5	85	76	79	84	83		2,2	2,0	1,5	2,6
Средние за год	12,7	14,6	13,7	13,1	14,4	106,0	76,8	182,9	118,5	184,1	65	54	57	59			11,7	10,7	10,9	11,0

для долива, определялся регулярно ; в период исследований общая минерализация изменялась от 2 до 3 г/л. Урожайность сельскохозяйственных культур учитывалась.

Опыты по изучению испарения проводились в следующих вариантах:

I. Изучение испарения грунтовых вод при различной глубине их уровня с поверхности оголенной почвы (без растительного покрова).

2. Определение расхода грунтовых вод на испарение с поверхности почвы и на транспирацию хлопчатником при различной глубине уровня и разной минерализации грунтовых вод.

3. Исследование расхода грунтовых вод на испарение с поверхности почвы и на транспирацию люцерной различного возраста при разной глубине уровня грунтовых вод.

Метеорологические условия Бухарского оазиса в период исследований характеризует табл. I. Эти условия типичны для оазисов пустынной зоны центральных частей Средней Азии. Результаты исследований представляются в следующем виде.

Испарение грунтовых вод с поверхности почвы без растительного покрова

При этих опытах уровень грунтовых вод поддерживался в различных лизиметрах на постоянной глубине: 0,5 , 0,9 , I,35 , I,9 , 2,35 и 2,77 м. Почво-грунты искусственно не орошались. Ростки трав уничтожались. В этих условиях испарение грунтовых вод определяется климатическими факторами и капиллярными свойствами почво-грунтов. Результаты наблюдений представлены в табл.2. Важнейшие выводы из анализа полученных данных сводятся к следующему.

Испарение грунтовых вод обнаженной почвой весьма значительно и при глубине уровня 0,50 м достигает 550 мм за год (в среднем за I957-I958 гг.). В пределах исследованных глубин не установлено прекращения испарения грунтовых вод. Даже при глубине уровня 2,77 м испарение составило значительную величину - 43 мм (средние данные за I954-I956 и I958 гг.). Эти данные не подтверждают принятого в литературе представления о том, что в Бухарском оазисе испарение грунтовых вод полностью прекращается при глубине уровня 2,7 м.

Величина испарения грунтовых вод уменьшается по мере увеличения глубины уровня. Это обусловлено различной скоростью капиллярного поднятия влаги при различной глубине уровня грунтовых вод в условиях,когда возможное испарение влаги поверхностью поч-

Таблица 2

Расход грунтовых вод на испарение с поверхности почвы без растительного покрова в Бухарском оазисе

Средние данные

Глубина уровня грунтовых вод, м	Испарение грунтовых вод, мм													Период наблюдений
	I	II	III	IУ	У	УI	УII	УIII	IX	X	XI	XII	за год	
0,50	II,5	35,0	23,0	55,5	69,0	72,0	74,0	74,5	5I,5	35,5	28,5	I7,0	547,0	I957-I958 гг.
0,90	I0,0	8,8	2I,0	29,2	46,2	56,4	53,2	48,0	40,2	3I,4	24,6	I4,8	383,8	I954-I958 гг.
I,35	8,6	4,6	8,2	I0,6	34,2	37,6	4I,4	36,0	3I,6	25,8	20,0	I2,8	27I,4	
I,90	6,0	4,2	6,8	7,2	I5,8	I9,9	2I,8	I8,2	I7,4	I5,6	I3,0	9,0	I54,9	
2,35	5,0	3,2	4,2	4,2	7,8	I2,8	I4,3	I4,8	I3,5	I2,2	II,8	7,5	III,3	I955-I958 гг.
2,77	2,2	I,8	2,0	2,0	3,8	5,2	5,0	4,8	4,2	4,2	5,0	3,2	43,4	I954-I956, I958 гг.

вы превышает скорость капиллярного поднятия. Зависимость испарения от глубины залегания грунтовых вод имеет характер гиперболы. Испарение грунтовых вод происходит в течение всего года, причем с апреля по октябрь испарение достигает 70–80% от суммарной годовой величины .

Расход грунтовых вод на испарение несоизмеримо мал по сравнению с инфильтрацией атмосферных осадков. Лишь в отдельные зимние месяцы особо влажных лет месячная сумма испарения может быть несколько меньше инфильтрации. Однако это наблюдается чрезвычайно редко.

Испарение грунтовых вод в невегетационный период зависит от количества осадков и температуры воздуха. При этом осадки, даже не достигавшие уровня грунтовых вод, увлажняя зону аэрации, снижают испарение. Осадки, таким образом, влияют через режим влаги зоны аэрации на испарение грунтовых вод. Наименьшее испарение наблюдается в период декабрь–март, благодаря нарастанию в зоне аэрации запасов влаги – атмосферной и восходящей парообразной, в условиях низкой температуры и повышенной относительной влажности воздуха.

Резкие изменения температуры активизируют расход грунтовых вод на создание термокапиллярного потока влаги к поверхности охлажденной почвы. Это явление наблюдалось при глубине уровня до 2 м в третьей декаде ноября и в первой декаде декабря 1954 г (табл. 3), когда резко снизилась температура воздуха (в утренние часы до -13, -19°С).

Таблица 3

Расход грунтовых вод в лизиметрах без растительности с 20/XI по 10/XII 1954 г.

Период наблюдений	Расход воды в лизиметрах, мм					Средняя температура воздуха, °С
	№ 5 0,9 м	№ 6 1,35 м	№ 7 1,9 м	№ 8 2,35 м	№ 9 2,77 м	
III декада ноября	9,3	7,2	3,6	1,6	1,2	-4,3
I декада декабря	10,1	7,5	3,6	1,3	0,4	-4,5

Испарение грунтовых вод в вегетационный период зависит от температуры воздуха и его относительной влажности. Нередко минимальная влажность воздуха фиксируется в июне при максимальной температуре воздуха в июле. Соответственно наблюдаются и отклоне-

ния в ходе испарения грунтовых вод. Так, в большинстве лизиметров наибольшее испарение в 1954 и 1955 гг. было отмечено в июне - при минимальной относительной влажности воздуха. В 1956 г. максимум испарения отмечен в июле, при наибольшей скорости ветра, наименьшей относительной влажности воздуха и максимальной температуре. Испарение находится в корреляционной связи с относительной влажностью воздуха. Связь декадных сумм испарения в вегетационный период 1955 г. в лизиметре № 5 с относительной влажностью воздуха выразилась коэффициентом корреляции 0,82.

Расход грунтовых вод на испарение с поверхности почвы и транспирацию хлопчатником

Результаты наблюдений представлены в табл.4. Данные, помещенные в указанной таблице, получены при урожайности хлопчатника 25-40 ц/га (густота стояния растений хлопчатника в лизиметрах соответствует 100 тыс.на 1 га).

В лизиметрах периодически определялись влажность грунтов и их засоленность.

Расход грунтовых вод на испарение и транспирацию по осредненным данным изменяется от 1000 мм при глубине уровня 1,0 м до 70 мм - при 3 м. Испарение грунтовых вод хлопчатником зависит не только от глубины их уровня, но и от подачи оросительных вод, от урожайности хлопчатника и температуры воздуха. При одинаковой глубине уровня транспирация нарастает с повышением урожайности и уменьшением подачи оросительных вод. При глубине уровня грунтовых вод 1,0 м связь испарения грунтовых вод с урожайностью имеет прямолинейный характер.

Испарение грунтовых вод хлопчатником происходит в пределах всех исследованных глубин залегания не прекращаясь и при глубине 3 м. Однако с уменьшением глубины залегания грунтовых вод увеличивается доля участия их в суммарном расходе воды хлопчатником: от 10-11% при 2,5-3,0 м до 72% при 1,0 м.

Расход грунтовых вод хлопчатником, впервые изученный при столь дробных интервалах глубин залегания, уменьшается с увеличением глубины уровня по закону кривой, близкой по форме к кривой испарения грунтовых вод почвой без растительности.

Сезонная динамика расхода грунтовых вод хлопчатником определяется физиологической потребностью его в воде в разные фазы развития, климатическими факторами и режимом орошения, причем не

Таблица 4

Расход грунтовых вод на испарение с поверхности почвы и транспирацию хлопчатником в Бухарском оазисе

Глубина уровня грунтовых вод, м	Расход воды, мм (в числителе - грунтовой, в знаменателе - оросительной и атмосферных осадков)								Отношение расхода грунтовых вод к общему расходу, %	Период наблюдений
	IУ	У	УI	УП	УШ	IX	X	всего за вегетационный период		
I,0	I7 32	26 25	46 44	I89 I06	280 I54	25I 32	I78 4	987 396	7I,6	I954-I958 гг.
I,5	9 38	II 3I	I3 62	78 I28	I48 I50	I95 45	I64 4	618 458	57,I	I954, I956-I958 гг.
2,0	2 33	5 53	4 82	I5 I99	35 I27	50 32	67 4	I79 530	25,0	I955-I958 гг.
2,5	I 33	2 54	2 92	7 22I	I2 I45	2I 36	40 4	86 585	I2,7	
3,0	3 33	4 58	3 75	4 242	II I78	I8 42	29 4	72 633	9,9	

всегда совпадает с сезонной динамикой суммарного расхода влаги. Первая половина вегетационного периода характеризуется постепенным нарастанием испарения. Резкое увеличение его происходит начиная с июля. Максимум при глубине уровня I,0 и I,5 м фиксируется в большинстве случаев в августе, при наибольшей потребности хлопчатника в воде.При глубине залегания грунтовых вод 2,0, 2,5 и 3,0 м максимальное испарение чаще всего смещается на октябрь,когда отрастающая корневая система хлопчатника достигает более глубоких горизонтов почво-грунта. Сокращение или полное прекращение в сентябре-октябре поливов, при еще высокой температуре воздуха, обусловливает питание хлопчатника почти исключительно грунтовой водой,в то время как в июле-августе,при максимуме суммарного расхода воды, необходимую влагу хлопчатник получает в значительной мере за счет поверхностных оросительных вод. Этим объясняется наиболее низкое положение уровня грунтовых вод в Бухарском и других оазисах в сентябре-октябре и максимальное иссушение в этот период зоны аэрации.

Расход грунтовых вод на испарение с поверхности почвы и транспирацию люцерной

Проведенные наблюдения осветили транспирацию грунтовых вод люцерной первого, второго и третьего годов посева.Результаты наблюдений представлены в табл. 5. Расход грунтовых вод люцерной изменяется в весьма широких пределах в зависимости от возраста и урожайности, глубины залегания грунтовых вод и затрат оросительных вод.

В проведенных опытах однолетняя люцерна при глубине уровня 2,0 м, вследствие низкой урожайности, транспирировала грунтовых вод меньше, чем хлопчатник. При такой урожайности, свойственной, к сожалению, многим хозяйствам орошаемой зоны, мелиорирующее влияние люцерны весьма ослаблено. Более высокая урожайность при глубине уровня I,0 и I,5 м определила значительный расход грунтовых вод однолетней люцерной в сравнении с хлопчатником.

Двухлетняя люцерна по сравнению с однолетней обладает более мощной и глубоко развитой корневой системой. Урожайность ее возросла, соответственно повысился и расход грунтовых вод (табл.5).

Транспирация грунтовых вод трехлетней люцерной весьма отличалась от транспирации двухлетней. При глубине уровня грунтовых вод 0,93 и I,5 м транспирация на третьем году жизни люцерны снизилась в связи со снижением урожайности.Можно предполагать,

Таблица 5

Расход грунтовых вод на испарение с поверхности почвы и транспирацию люцерной в Бухарском оазисе

Глубина уровня грунтовых вод в метрах	Год проведения опыта	Расход воды, мм (в числителе – грунтовой, в знаменателе – оросительной и атмосферных осадков)													Отношение расхода грунтовых вод к общему расходу, %	Урожайность, ц/га
		I	II	III	IУ	У	УI	УII	УIII	IX	X	XI	XII	Испарение за вегетационный период		
							Люцерна посева первого года									
0,93	1955	25 0	24 53	8 33	21 9	41 77	133 110	167 152	208 90	206 53	160 1	29 1	17 21	936 492	65,4	104,7
1,50	1955	18 0	15 4	16 32	37 9	98 97	128 150	190 160	196 90	149 70	75 1	29 1	21 21	873 577	60,3	113,3
2,00	1955	13 0	11 41	7 32	6 9	5 97	7 146	7 168	29 90	38 170	37 0	21 1	16 21	129 680	15,9	40,2
							Люцерна посева второго года									
0,93	1956	128 37	8 34	11 33	122 141	379 60	452 50	534 50	326 50	338 0	94 36	54 6	13 20	2245 387	85,5	276,0
1,50	1956	12 37	3 34	5 33	104 167	371 130	397 60	577 60	446 60	397 0	109 70	54 6	14 20	2401 547	81,3	331,0
2,00	1956	10 37	4 34	1 33	13 193	117 130	244 70	420 70	392 80	375 0	145 80	83 6	22 20	1706 623	73,5	294,0
3,00	1956	4 37	3 34	2 33	7 223	23 205	45 180	66 270	87 130	154 90	64 100	43 6	10 20	446 1198	27,4	256,0
							Люцерна посева третьего года									
0,93	1957	16 18	4 28	32 14	151 73	366 64	320 61	291 161	153 50	218 0	46 16	28 9	5 26	1545 425	78,3	248,2
1,50	1957	11 18	2 34	26 14	170 80	321 74	367 71	380 181	268 60	205 0	58 15	45 9	13 26	1769 482	78,6	299,9
2,00	1957	16 18	9 62	16 14	126 130	252 94	338 91	420 221	375 90	248 0	78 16	28 9	20 26	1837 642	74,3	389,2
3,00	1957	9 18	6 193	14 14	116 140	227 144	223 121	306 261	265 110	263 0	87 16	62 9	19 26	1487 792	65,4	405,5

что причиной этого послужило угнетенное состояние люцерны вследствие неглубокого залегания грунтовых вод и связанного с этим засоления почв. При глубине уровня 2,0 и 3,0 м урожайность люцерны (в сравнении с двухлетней), а соответственно и расход грунтовых вод, возросли. Особенно резко повысился расход грунтовых вод при глубине уровня 3,0 м. Величина его превысила испарение грунтовых вод под люцерной посева первого года при глубине уровня 0,93 м.

В 1957 г.четко проявилось повышение урожайности люцерны с увеличением глубины уровня грунтовых вод.

Удельный вес грунтовых вод в суммарном расходе воды однолетней люцерной изменяется от 16 до 65% (при глубине уровня 0,93 - 2,0 м), двухлетней люцерной - 27 -86% (при глубине 0,93 - 3,0 м) и трехлетней люцерной - 65 - 78% (при тех же глубинах).

Характерно, что величины удельного веса расхода грунтовых вод под трехлетней люцерной значительно сближаются при различных глубинах уровня (от 0,93 до 3,0 м).

Сезонная динамика расхода на испарение и транспирацию характеризуется заметным увеличением его с мая - июня (табл.5).Максимум наступает в июле-августе, с тенденцией у однолетней люцерны к смещению на сентябрь, начиная с глубины уровня 1,5-2 м. В последующие месяцы расход сокращается, но в октябре, как и под хлопчатником, составляет значительную величину.

В настоящем сообщении мы не рассматриваем вопросы о влиянии на расход грунтовых вод на испарение и транспирацию годовых изменений метеорологических факторов, урожайности хлопчатника и люцерны и величины примененных оросительных норм. Эти вопросы будут изложены в специальной статье.

Полученные данные об испарении грунтовых вод использованы для решения ряда практических задач и теоретических вопросов формирования грунтовых вод в пустынной зоне. Из этих задач и вопросов отметим следующие.

В свете полученных данных о транспирации грунтовых вод хлопчатником автору представляется, что существующий режим орошения хлопчатника, разработанный много лет тому назад, не отражает действительного участия грунтовых вод в этом расходе и должен быть пересмотрен с учетом лизиметрических данных и опыта передовых хозяйств.

На основе данных о расходе грунтовых вод на испарение с поверхности почвы и транспирацию хлопчатником установлен критический режим грунтовых вод, вызывающий в Бухарском оазисе засоление почв, опасное для хлопчатника. Проверка этих критических глубин,

различных для грунтовых вод разной минерализации, произведенная в производственных условиях ряда колхозов Бухарской области, подтвердила правильность установленных глубин[x].

Данные исследований испарения грунтовых вод и наблюдений за другими элементами баланса использованы для составления баланса грунтовых вод опытных участков площадью II8 и I200 га. Кроме того, составлен приближенный баланс грунтовых вод Бухарского оазиса за I954-I955 гг. в разрезе пяти балансовых районов, выделенных в пределах оазиса.

Материалы по критическому режиму и балансу грунтовых вод использованы для проектирования горизонтального и вертикального дренажа засоленных земель Бухарского оазиса.

Результаты исследований, проведенных автором в Бухарском оазисе, в Голодной степи и в ряде других орошаемых районов Средней Азии, позволили разработать принципы гидрогеологического районирования орошаемых земель на основе объективных количественных показателей.

В основе районирования находится соотношение подземного оттока с расходом грунтовых вод на испарение с поверхности почвы и транспирацию растительным покровом, установленное путем балансовых исследований. Всего в орошаемой зоне Средней Азии выделены четыре зоны:

I) резкого преобладания подземного оттока над испарением и транспирацией растениями грунтовых вод;

2) относительно повышенного оттока, иногда преобладающего над испарением;

3) преобладания испарения над оттоком;

4) резкого преобладания испарения над оттоком.

Каждой из выделенных зон свойственны: определенные пределы изменений скорости фильтрации грунтовых вод, количественные характеристики соотношений подземного притока и оттока, определенные типы химического состава грунтовых вод и их изменения по вертикальному профилю водоносной толщи.

В зависимости от глубины залегания и режима уровня грунтовых вод зоны подразделяются на районы.

Таким образом, соблюдая предложенный принцип гидрогеологиче-

---

x) Методика и результаты исследований критического режима грунтовых вод изложены в статье автора "Регулирование режима грунтовых вод Бухарского оазиса". Журнал "Социалистическое сельское хозяйство Узбекистана", № 6, I957.

ского районирования орошаемых земель или площадей, намеченных к орошению, представляется возможным четко выявить роль грунтовых вод в процессах почвообразования и обосновать мероприятия по предупреждению или ликвидации засоления и заболачивания почв[x].

Таковы примеры практического применения данных по испарению грунтовых вод.

Для развития исследований процесса испарения грунтовых вод, играющих огромную роль в водно-солевом режиме почв аридных районов, необходимо, прежде всего, усилить разработку методических вопросов в институтах ВСЕГИНГЕО, ГИДРОИНГЕО АН Узб.ССР и др.

В настоящее время для изучения испарения грунтовых вод в основном применяется лизиметрический метод и гидродинамический анализ режима уровня грунтовых вод (метод конечных разностей). По нашему мнению весьма ценные результаты может дать применение метода теплового баланса для изучения испарения и транспирации с поверхности почвы с последующим выделением части испарения, приходящейся на долю грунтовых вод. Необходимо производить определение испарения грунтовых вод одновременно несколькими независимыми методами.

Кроме того, для усиления работ по изучению испарения грунтовых вод целесообразно осуществить следующие мероприятия:

I. Разработать единую методику изучения испарения грунтовых вод с помощью лизиметров - обязательную для различных ведомств, занимающихся изучением испарения.

2. Организовать на метеостанциях, расположенных в орошаемых районах с неглубоким залеганием грунтовых вод, параллельное изучение испарения с земной поверхности - методом теплового баланса и испарения и транспирации растениями грунтовых вод-лизиметрическим методом. На основе этих данных следует установить, в частности, для различных гидрогеологических и почвенно-климатических условий долю участия испарения грунтовых вод в общем расходе влаги с поверхности земли. В дальнейшем необходимо сделать попытку на основе данных теплового баланса определять величины испарения грунтовых вод (с учетом изменения влагозапасов в зоне аэрации)

3. Проводить в орошаемых районах изучение балансов грунтовых вод и общего водного баланса гидрогеологическими станциями

---

x) Принципы предложенного районирования изложены в статье автора "Регулирование режима грунтовых вод в орошаемых районах Узбекистана". Журнал "Социалистическое сельское хозяйство Узбекистана", № 12, 1957.

совместно с метеорологическими и гидрологическими станциями ГУГМС.

4. Усилить с методической и научной целью изучение испарения грунтовых вод и других статей баланса подземных вод (инфильтрация, подземный сток, конденсация и др.) в научно-исследовательских лабораториях и на станциях ГГИ.

5. Рекомендовать ГГИ в ближайшие годы организацию научно-исследовательской гидрологической лаборатории (типа Валдайской) в одном из оазисов пустынной зоны в пределах Узбекистана.

6. Создать при ГГИ постоянную Междуведомственную комиссию по изучению испарения с суши для координации работ по изучению испарения и апробации методики и результатов этих исследований.

Б.Е. Милькис, канд. физ.-мат. наук, Л.П. Могильников, мл.научн.сотр.
(Ин-т водных проблем и гидротехники АН УзбССР, Ташкент)

ИССЛЕДОВАНИЯ ИСПАРЕНИЯ С ОБНАЖЕННОГО ЛОЖА ВОДОХРАНИЛИЩА

Республики Средней Азии располагают громадным фондом вполне пригодных для сельскохозяйственного освоения земель и достаточными поверхностными водными ресурсами для их орошения. Согласно перспективному плану здесь предусматривается использование еще 3-4 миллионов гектаров земли. Для этого предполагается осуществить сезонное регулирование стока рек. Ожидается, что в ближайшие 10-15 лет будут созданы водохранилища общим объемом порядка 50 миллиардов $м^3$. И в этой перспективе, если к тому же иметь в виду климатические условия Средней Азии, понятно, какое значение для нас приобретает изучение водного баланса водохранилищ и, в частности, процесса испарения.

Поэтому в 1957 г. Институт водных проблем и гидротехники АН УзбССР организовал специальные исследования на одном из водохранилищ Средней Азии с целью изучения и уточнения методов расчета испарения с водной поверхности. При этих исследованиях было обращено внимание на следующее обстоятельство.

При эксплуатации сезонных водохранилищ в целях ирригации из-под вод освобождается значительная площадь. Обильно увлажненный грунт в пределах освобожденной площади интенсивно испаряет влагу. Величина этого испарения при расчетах водного баланса, насколько нам известно, никем не учитывалась, а она, как увидим ниже, заслуживает самого большого внимания.

Для определения этой величины отделом гидрологии Института были организованы в 1959 г. специальные исследования на обнаженном ложе Катта-Курганского водохранилища.

Освобожденная здесь из-под воды площадь составляет около 55 $км^2$ при площади зеркала водохранилища в 64,5 $км^2$.

Катта-Курганское водохранилище расположено в 85 км к СЗ от г. Самарканда. Наполняется водохранилище осенью и зимой. Весной и летом, когда нехватает воды в реке для орошения нижней части Зеравшанской долины, ее берут из водохранилища.

Для определения величины испарившейся влаги с поверхности почвы были использованы испарители малой модели с площадью 78,5 $см^2$.

Малый почвенный испаритель [II] представляет собой цилиндрический сосуд со съемными крышками, который вставляется во второй со сплошным дном. Диаметр первого сосуда IO см, высота IO см. Наружный сосуд закапывается по края в почву на весь период наблюдений. Внутренний сосуд с монолитом периодически взвешивается.

Испарители устанавливались в двух повторностях на северо-западном и юго-западном берегах водохранилища. Днем через каждые два часа в испарителях устанавливались свежие монолиты. В ночные часы монолиты в испарителях не заменялись. Одновременно для сопоставления выставлялись и испарители, в которых монолиты экспонировались в течение суток. Суточная величина испарения по последним испарителям получается завышенной примерно на I8% (табл.I).

Таблица I

Суточная величина испарения, в мм

Монолит меняется один раз в сутки		I6,6	I4,2	II,9	9,5	7,0	4,7
Монолит меняется каждые два часа		I4,0	I2,0	I0,0	8,0	6,0	4,0
Превышение	мм	2,6	2,2	I,9	I,5	I,0	0,7
	%	I8,6	I8,3	I9,0	I8,7	I6,7	I7,5

Новые пункты наблюдений открывались по мере освобождения ложа водохранилища из-под воды.

Наряду с измерением испарения с поверхности почвы определялись также температура и влажность воздуха, температура почвы на поверхности и на глубинах 5,I0,I5 и 20 см,влажность почвы до глубины I00 см, суммарная и рассеянная радиация, альбедо подстилающей поверхности и радиационный баланс. Одновременно проводился комплекс наблюдений на водной поверхности. Сюда входили определения испарения по плавучему испарителю ГГИ-3000, измерения температуры и влажности воздуха, температуры воды, скорости ветра и т.п.

Как показывают наблюдения, испарение с обнаженной почвы в первые дни даже превышает испарение с водной поверхности.

Таблица 2

Декадные суммы испарения с обнаженного участка и с поверхности воды, в мм

Количество дней после освобождения участка из-под воды	I0	20	30	40	50
Декадные суммы испарения с обнаженного участка	I00	80	52	30	25
Декадные суммы испарения с поверхности воды	79	78	80	73	67

В табл. 2 в качестве примера приведены декадные суммы испарения с поверхности участка, освобожденного из-под воды 20 июля.

Как видим,в первые десять дней после схода воды, т.е. с 20/УП по 29/УП, участок испарил на 27% больше, чем водная поверхность. В следующие десять дней испарение с участка почвы соответствует испарению с водной поверхности; далее отмечается быстрое убывание величины испарения с поверхности почвы. На других участках наблюдаются иные процентные соотношения испарения с почвы и испарения с водной поверхности, однако в большинстве случаев в течение двадцати дней после схода воды испарение с увлажненной почвы превышает испарение с водной поверхности.

Данные наблюдений на десяти участках показывают, что величина испарения с поверхности обнаженного ложа может достигать в первые десять дней после схода воды I28%, а в следующие десять дней - II0% испарения с водной поверхности.

В литературе имеются примеры превышения испарения с обильно увлажненной поверхности почвы над испарением с водной поверхности. Так, М.Л. Пархоменко [8] отмечает, что в момент, когда влажность почвы приближается к полевой влагоемкости, испарение с ее поверхности почти в два раза превышает испарение с зеркала воды. По А.С. Позднышеву [9], испарение с почвы, увлажненной до I00% полевой влагоемкости, в I,5-I,6 раза превышает испарение с водной поверхности.В.А.Ковда в своей монографии [3] также отмечает, что почвы, увлажненные при орошении на 90-I00% полевой влагоемкости, испаряют на 20-40% больше, чем водная поверхность.

Кстати сказать, это обстоятельство позволило А.К. Проскурякову [I0] оценить величину испарения с поверхности песчаных отме-

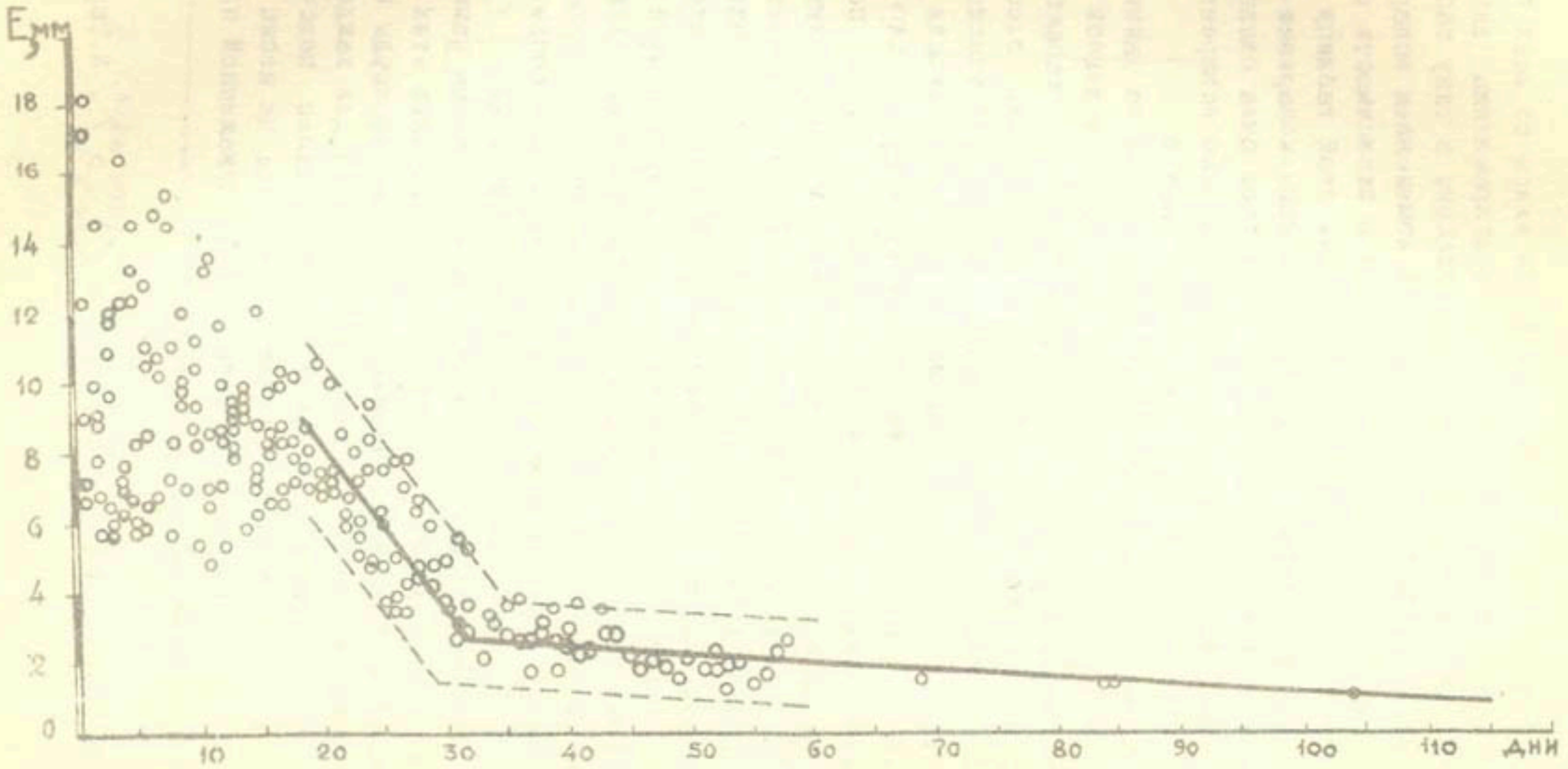


Рис.I. Зависимость суточных величин испарения с почвы (E) от времени освобождения ее из-под воды.

лей, появляющихся в русле реки Аму-Дарьи при низких меженних уровнях с октября по апрель.

Для расчета количества испарившейся влаги со всей поверхности обнаженного ложа Катта-Курганского водохранилища данные измерений испарения на всех участках были сведены в одну таблицу таким образом, чтобы можно было проследить за изменением испарения с поверхности каждого исследуемого участка в зависимости от времени освобождения его из-под воды. По данным этой таблицы были построены графики зависимости суточной величины испарения с поверхности почвы от времени освобождения. При этом была сделана выборка по месяцам так, чтобы точки, характеризующие испарение с участков в одном месяце, находились на одном графике.

Для примера рассмотрим график, построенный по данным измерения испарения в августе (рис. I). На приведенной зависимости можно выделить три участка. Первый участок характеризуется большим разбросом точек, что говорит об отсутствии здесь тесной зависимости испарения от дня освобождения. Второй участок отличается резким падением величины испарения в зависимости от дня освобождения. И, наконец, третий участок характеризуется плавным уменьшением величин испарения. Такой характер связи показывает, что в процессе просыхания обнаженной почвы можно выделить три известных [x)] стадии: когда вся поверхность почвы увлажнена водой, когда на поверхности высыхающей почвы появляются подсохшие участки и, наконец, когда вся поверхность почвы покрыта подсохшей корочкой. В первой стадии испарение с обильно увлажненной почвы непосредственно зависит от метеорологических условий. Так как испарение с водной поверхности также зависит от метеорологических условий, между величинами испарения с поверхности почвы и с водной поверхности наблюдается хорошая связь (рис. 2).

Аналогичные графики были построены и по данным измерений испарения в июне, июле и сентябре. С помощью этих графиков были определены величины испарения с поверхности почвы на каждый день освобождения ее из-под воды. Одновременно для каждого дня были подсчитаны площади обнаженных участков. Далее подсчитывалась суммарная величина испарения с каждого участка за месяц и за сезон. Результаты подсчета испарения со всей обнаженной площади за период май-октябрь приведены в табл. 3.

---

x) См., например, работы Ф.Е. Колясева [4, 5], Л.Тюрка [12] и др.

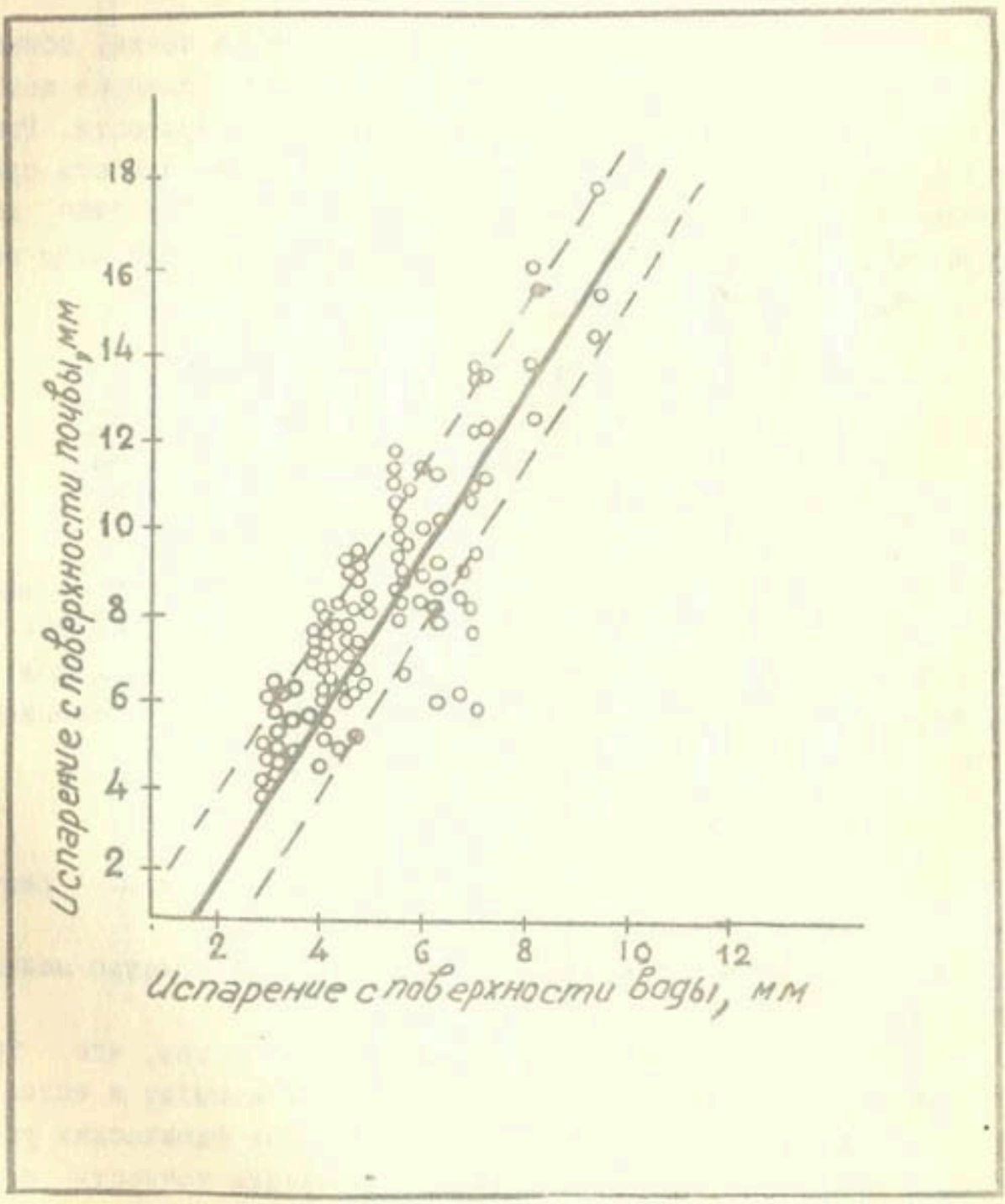


Рис. 2. Связь между суточными величинами испарения с почвы и воды.

Таблица 3

Суммарная величина испарения с поверхности почвы и с водной поверхности, в тыс. $м^3$

Почва							Вода	
У	УI	УП	УШ	IX	X	У-X	У-X	I-XП
277	861	3757	7687	6016	2989	21587	28217	41076

Как видим, величина испарения с поверхности почвы, обнаженной в период сработки водохранилища, составляет примерно половину той влаги, которую теряет водоем с водной поверхности. Рис. I наглядно показывает, что с течением времени интенсивность процесса испарения ослабевает. Такие "затухающие" процессы чаще всего подчиняются экспоненциальному закону, который в общем виде выражается следующим уравнением:

$$J_t = J_0 e^{-\alpha t}, \qquad (I)$$

где J_t – интенсивность процесса в момент времени t,
J_0 – интенсивность процесса в начальный момент,
α – параметр, t – время.

Если величины испарения с поверхности почвы, приходящиеся на определенный день освобождения ее из-под воды, осреднить и полученные значения сопоставить с временем освобождения (табл. 4), то обнаруживается зависимость, которая описывается уравнением типа (I)

$$E_t = 12{,}3e^{-0{,}03t}. \qquad (2)$$

Это уравнение можно использовать для приближенных расчетов суточной величины испарения с поверхности почвы.

Какова же точность определения испарения с помощью малых почвенных испарителей?

Основной недостаток этого метода состоит в том, что трудно добиться такого положения, чтобы исследуемый монолит и естественная почва находились в совершенно одинаковых физических условиях. Единственно, что можно сделать для улучшения точности показания прибора – это чаще менять в нем монолиты. В наших исследованиях каждые два часа устанавливались свежие монолиты.

Таблица 4

Суточные величины испарения с поверхности почвы в зависимости от времени освобождения ее из-под воды

Количество дней после освобождения поверхности почвы из-под воды	I	5	I0	I5	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	85	90	95	I00
Испарение, мм	I2,0	9,9	9,I	8,3	7,9	5,8	4,0	3,3	2,8	3,0	2,4	I,4	2,6	2,0	I,5	I,4	I,4	I,3

Для определения точности измерения испарения по малым почвенным испарителям их показания были сопоставлены с величинами испарения, полученными по методу теплового баланса. При этом радиационный баланс был измерен термоэлектрическим балансомером, разработанным Б.А. Айзенштатом (по типу балансомера Лютерштейна-Скворцова) [7], а величины тепловых потоков в почве рассчитывались по материалам измерений температуры ее в слое до 20 см методом, предложенным Г.Х. Цейтиным [I3]. Результаты сопоставления показали, что испарители завышают величину испарения в среднем на I2%; поэтому в их показания был введен редукционный коэффициент, равный 0,88.

Для изучения динамики процесса просыхания обнаженного ложа Катта-Курганского водохранилища на каждом участке отбирались пробы для определения влажности почвы до глубины I00 см.

В табл. 5 приведена средняя влажность почвы на различных глубинах в зависимости от времени освобождения поверхности почвы из-под воды.

Таблица 5

Средняя влажность почвы в зависимости от времени освобождения ее из-под воды, см

Количество дней после освобождения поверхности почвы из-под воды	Глубина взятия проб, см				
	5	I0	20	50	I00
I	3I,5	28,9	27,0	3I,0	33,5
5	29,8	27,8	26,2	30,0	32,8
I0	28,0	26,3	25,2	29,0	32,0
I5	26,0	25,0	24,2	28,0	3I,0
20	24,0	23,5	23,2	27,0	30,I
25	22,0	22,0	22,2	26,2	29,0
30	20,0	20,8	2I,2	25,0	28,2
35	I8,0	I9,5	20,2	24,0	27,5
40	I6,0	I8,0	I9,0	23,2	26,8
45	I4,2	I6,8	I8,3	22,2	25,8
50	I2,5	I5,2	I7,5	2I,2	25,0
55	I0,5	I4,0	I6,5	20,0	24,0
60	9,0	I2,5	I5,8	I9,2	23,2

Продолжение табл. 5

Количество дней после освобождения поверхности почвы из-под воды	Глубина взятия проб, см				
	5	I0	20	50	I00
65	8,5	II,0	I4,5	I8,2	22,5
70	8,0	I0,0	I3,8	I7,I	22,0
80	7,0	9,0	II,5	I5,4	20,3
90	5,6	7,5	9,5	I3,5	I8,6
I00	4,5	6,0	8,0	II,8	I7,0

Таблица показывает, что просыхание происходит довольно интенсивно в пределах слоя I0-20 см; на больших глубинах процесс замедляется.

Следует отметить уменьшение влажности на глубине 20 см в первые дни после обнажения почвы; нормальное распределение влажности наблюдается только на 20-25 сутки. В этот период скорее всего происходит рассасывание стекающей влаги.

Последний вопрос, на котором следует остановиться, - это зависимость альбедо от влажности почвы. При определении радиационного баланса подстилающей поверхности имеют большое значение ее отражательные свойства.

Как показывают наблюдения, альбедо зависит от влажности почвы, уменьшаясь с возрастанием влажности.

По данным наблюдений Т.В. Кирилловой [2], альбедо орошаемой площадки уменьшается на 5-8% по сравнению с альбедо сухой площадки. В.Л. Гаевский [I] показывает более значительное уменьшение альбедо при орошении оголенной поверхности почвы (с 32 до I8%). Примерно такое же альбедо получается и по данным Д. Л. Лайхтмана и А.Ф. Чудновского [6] для песка.

Наши наблюдения за изменением альбедо в зависимости от влажности поверхностного слоя грунта были организованы на освобожденных из-под воды участках. Пункты наблюдений находились у самого уреза воды и на различном расстоянии от него. Одновременно с измерением альбедо на каждом пункте определялась влажность весовым методом.

Результаты наблюдений на основной площадке (ССЗ берег водохранилища) представлены в табл. 6.

Все значения в таблице даны для истинного полдня. Для сопоставления приведено также альбедо, измеренное в прибрежном районе и в открытой части водохранилища.

Таблица 6

Зависимость альбедо от влажности почвы

Влажность, %	4	8	I2	I6	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	68	Вода	
																	берег	центр
Альбедо, %	33,0	28,8	26,6	24,6	23,0	22,0	2I,0	20,0	I9,5	I9,2	I9,0	I8,8	I8,4	I8,0	I7,6	I7,0	I4,7	8,0

Табл. 6 очень характерна. Прежде всего, альбедо интенсивно уменьшается с увеличением влажности. Альбедо грунта, обильно насыщенного влагой, почти вдвое меньше альбедо сухих участков и приближается к альбедо воды в прибрежном районе.

Данное сообщение имеет цель подчеркнуть значительность величины испарения с обнаженного лоха в водном балансе водохранилища.

В работе исследовались в основном лессовидные грунты. В дальнейшем предполагается провести наблюдения за испарением с поверхности обнаженного ложа водохранилища, сложенного из глинистого и песчаного грунта.

ЛИТЕРАТУРА

I. Гаевский В.Л.-К вопросу о роли альбедо в формировании радиационного режима поверхности. Труды ГГО,вып. 39 (101), 1953.
2. Кириллова Т.В.-О влиянии орошения на радиационные характеристики деятельной поверхности.Труды ГГО,вып. 37 (99), 1952.
3. Ковда В.А.-Происхождение и режим засоленных почв, т.I, Изд. АН СССР, М.-Л., 1946.
4. Колясев Ф.Е.-Испарение воды почвой. Почвоведение,№ 5, 1939.
5. Колясев Ф.Е.-Дифференциальная влажность почвы, ее теория и применение в земледелии. Сб. трудов по агрономической физике, вып. 4, 1948.
6. Лайхтман Д.Л. и Чудновский А.Ф.-Физика приземного слоя атмосферы, Гостехиздат, 1949.
7. Лютерштейн И.Г. и Скворцов А.А.-Актинометр для измерения и записи баланса радиации. Геофизика, т.Ш, вып. 2, 1933.
8. Пархоменко М.Л.-Влияние влажности почвы на интенсивность испарения влаги с ее поверхности. Почвоведение,№ 5, 1957.
9. Познышев О.С.-Зависимость испарения с поверхности почвы от степени ее увлажнения. Метеорология и гидрология,№ II, 1940.
IO. Проскуряков А.К.-Водный баланс р. Аму-Дарьи на участке от г.Керки до г. Нукуса. Гидрометеоиздат, Л., 1953.
II. Скворцов А.А.-Об испарении и обмене в приземном слое атмосферы. Труды Ин-та энергетики. АН УзбССР, вып. I, 1947.
I2. Тюрк Л.-Баланс почвенной влаги. Гидрометеоиздат, Л., 1958..
I3. Цейтин Г.Х.-К вопросу об определении некоторых тепловых свойств почвы.Труды ГГО, вып. 39 (101), 1953.

В.В.Романов, канд. техн. наук
(ГГИ, Ленинград)

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ С БОЛОТ

На неосушенных болотах основной расходной статьей водного баланса является испарение, а теплового баланса - затраты тепла на этот процесс.

Поэтому в работах Отдела гидрологии болот ГГИ значительное внимание уделяется изучению испарения с болот. Существующие методы измерения суммарного испарения можно разделить на следующие: I. Методы водного баланса:

а) целых водосборов,
б) отдельных угодий, например, болотных микроландшафтов,
в) изолированных монолитов почвы (лизиметры, испарители, комбинированные испарители - лизиметры, испарители с гидравлическим взвешиванием).

II. Методы измерения величины оттока водяного пара в атмосферу:

а) метод, основанный на теории ярусного обмена (метод Скворцова),
б) методы, основанные на теории турбулентной диффузии.

III. Методы теплового баланса:

а) полный,
б) упрощенный.

При выборе и оценке метода измерения суммарного испарения в тех или иных природных условиях оценку метода необходимо производить со следующих точек зрения:

а) точности,
б) познавательной ценности получаемых результатов,
в) экономичности.

При оценке точности метода следует учитывать не только инструментальную точность, т.е. точность отсчета по приборам, но и точность расчетных формул, а также степень нарушения природной интенсивности процесса испарения.

Под познавательной ценностью понимается пригодность метода для установления основных закономерностей процесса испарения.

При оценке экономичности метода изучения испарения необходимо учитывать стоимость применяемой аппаратуры, трудоемкость и познавательную ценность метода, так как при большой познавательной ценности дорогой и трудоемкий метод в конечном итоге может оказаться экономичнее, чем дешевый, но мало ценный метод.

Оценка различных методов с этих точек зрения далеко не однозначна. Так,например, наибольшей инструментальной точности можно добиваться при гидравлическом взвешивании изолированных монолитов почвы,однако сама изоляция может нарушать условия испарения. Практически совершенно не нарушаются условия испарения при работе по методу турбулентной диффузии и методу Скворцова, однако точность расчетных формул в этих методах невелика. Наибольшую познавательную ценность имеет метод полного теплового баланса,однако он же является наиболее дорогим и трудоемким.

При значительном осреднении во времени наибольшую точность может дать (при условии замкнутости бассейна) метод водного баланса водосборов в условиях верховых болот и метод водного баланса отдельных болотных микроландшафтов, однако познавательная ценность этих методов невелика и их следует принять главным образом в качестве контрольных.

Таким образом, выбор метода измерения испарения должен зависеть от конкретных задач исследования и свойств изучаемого объекта.

На болотных станциях Гидрометслужбы и в Отделе гидрологии болот ГГИ для изучения испарения применяются методы водного баланса водосборов, водного баланса отдельных болотных микроландшафтов (метод нормальных кривых падения уровня [I] и метод зимних кривых падения уровня [2]), комбинированные испарители - лизиметры, а также методы полного и упрощенного теплового баланса. На осушенных болотах,занятых сельскохозяйственными культурами,Институтом мелиорации БССР применяются также испарители Попова с сетчатым дном [3] .

Интенсивность процесса испарения зависит от целого ряда факторов: влажности почвы и приземного слоя воздуха,температуры почвы и растений, состояния растений, условий отвода водяного пара и т.д. При таком обилии факторов,влияющих на интенсивность процесса, невозможно изучить действие всех их одновременно: необходимо выделить главные, ведущие факторы и лишь затем,на фоне познанных основных закономерностей,переходить к изучению действия второстепенных факторов.

Поскольку испарение - это процесс перемещения молекул воды из мест с высокой концентрацией(жидкая фаза в почве или растении)в место с низкой концентрацией(атмосферу) - связано с очень большой затратой энергии (скрытая теплота парообразования), основными закономерностями процесса будут зависимости скорости испарения от концентрации воды в почве или растении и от величины притока энергии.Третьим основным фактором будет состояние расти-

тельного покрова, поскольку бо́льшая часть испаряющейся воды предварительно проходит через растения.

Для того чтобы установить значение каждого из этих факторов, следует начинать изучение с факторов, быстро меняющихся во времени, в данном случае с радиационного баланса, так как при этом можно изучить его действие в чистом виде, поскольку в пределах одного цикла изменения (суток) состояние растительности и степени увлажнения можно считать постоянными.

Таким образом, в тех случаях, когда задачей исследования является изучение основных закономерностей процесса испарения, применяемый метод должен удовлетворять следующим условиям:

I) измерения должны производиться за короткие промежутки времени (порядка I часа),

2) одновременно с измерением испарения необходимо измерять и величину притока энергии (радиационный баланс).

Этим требованиям удовлетворяет метод полного теплового баланса.

Метод упрощенного теплового баланса, в котором часовые величины испарения осреднены за длительный срок (декада, месяц), мало пригоден для установления основных закономерностей испарения.

В то же время оба эти метода, дающие среднюю величину испарения со значительной площади (порядка $I0^2$-$I0^3$ $м^2$), совершенно непригодны для изучения испарения с объектов малого размера (гряд, мочажин) и в этом случае необходимо применять комбинированные испарители - лизиметры.

Исследования, проведенные по методу теплового баланса, показали, что величина испарения с неосушенных болот прямо пропорциональна радиационному балансу их поверхности, коэффициент же пропорциональности (удельное испарение в $см^3$/кал) зависит от фазы развития растений, а в пределах каждой фазы - от увлажнения (глубины залегания уровня грунтовой воды).

Установление этих закономерностей позволило рассчитать величины нормы испарения как с верховых (табл. I), так и с низинных (табл.2) болот, а по разности между нормой осадков и испарения и норму стока с них для всей Европейской территории СССР.

Полученные результаты показали, что в Европейской части СССР величина испарения как с верховых, так и с низинных болот закономерно уменьшается с юго-запада на северо-восток. Уменьшение это происходит значительно медленнее, чем уменьшение испарения с незаболоченных территорий.

На юго-западе, в районе Белорусского Полесья, величины испарения с болот и незаболоченных территорий практически совпадают.

Таблица I

Испарение с верховых болотных массивов ЕТС , мм

Район метеостанции	За вегетационный период	Район метеостанции	За вегетационный период
Полярный	I85	Старица	376
Хибины	I9I	Вологда	340
Лоухи	25I	Мышкино	350
Кемь	27I	Полушкино	366
Краснощелье	I93	Москва	388
Архангельск	260	Кострома	352
Онега	270	Иваново	36I
Пинега	264	Никольск	3I4
Усть-Цильма	2I5	Горький	365
Пустозерск	2I9	Киров	327
Индига	209	Нолинск	358
Усть-Ухта	249	Нагорское	3I9
Каргополь	296	Сарапул	362
Великий Устюг	3I4	Вильнюс	400
Венденга	260	Каунас	40I
Сыктывкар	285	Новое Королево	386
Вентспилс	40I	Калуга	387
Рига	390	Шаповский с.-х. техникум	365
Куусику	353	Богородицк	389
Тарту	358	Елатьма	377
Даугавпилс	388	Порецкое	378
Старое Гарколово	327	Отрада	398
Николаевское	343	Белозерск	326
Павловск (Слуцк)	305	Ленинград	29I
Вышний Волочек	360	Тотьма	3I8

Таблица 2

Испарение с низинных болот ЕТС , мм

Район метеостанции	За вегетационный период	Район метеостанции	За вегетационный период	Район метеостанции	За вегетационный период
Вентспилс	434	Кострома	386	Брянск	422
Рига	401	Иваново	387	Курск	443
Куусику	383	Тотьма	348	Воронеж	441
Тарту	378	Никольское	341	Елатьма	397
Даугавпилс	414	Горький	400	Богородицк	417
Старое Гарколово	366	Киров	366	Хвалынск	435
Николаевское	370	Нолинск	396	Привольск	453
Ленинград	341	Нагорское	351	Пенза	402
Павловск (Слуцк)	368	Сарапул	391	Порецкое	406
Вышний Волочек	389	Вильнюс	423	Отрада	417
Старица	397	Каунас	422	Боровое	405
Белозерск	370	Бобруйск	481	Житомир	457
Мышкино	376	Новое Королево	443	Полибино	447
Вологда	386	Калуга	408	Киев	472
Полушкино	394	Горки	442	Октябрьский городок	451
Москва	416	Новозыбков	431	Оренбург	437

Поэтому при водохозяйственных расчетах в этом районе можно не учитывать степень заболоченности бассейна. Наоборот, на севере и северо-востоке ЕТС неучет степени заболоченности может привести к весьма существенным ошибкам.

Величина испарения с низинных болот превышает величину испарения с верховых болот на 3-20% в зависимости от соотношения площадей различных болотных микроландшафтов и климатических условий.

Расчет величины испарения с верховых болот в годы с различными условиями погоды можно производить путем совместного решения уравнений стока, испарения и измерения уровня грунтовых вод (запаса воды в болотном массиве). Приведенные расчеты показали, что в мае и июне величина суммарного испарения зависит в первую очередь от величины радиационного баланса, в июле

Таблица 3

Испарение с осушенных болот ЕТС, занятых зерновыми (яровыми) культурами, мм

Район метеостанции	За вегетационный период	Район метеостанции	За вегетационный период	Район метеостанции	За вегетационный период
Вентспилс	424	Кострома	364	Брянск	422
Рига	398	Иваново	370	Курск	430
Куусику	368	Тотьма	342	Воронеж	428
Тарту	370	Никольское	335	Елатьма	388
Даугавпилс	395	Горький	381	Богородицк	399
Старое Гарколово	337	Киров	352	Хвалынск	410
Николаевское	355	Нолинск	376	Привольск	427
Ленинград	329	Нагорское	334	Пенза	390
Павловск (Слуцк)	338	Сарапул	375	Порецкое	390
Вышний Волочек	372	Вильнюс	417	Отрада	379
Старица	378	Каунас	417	Боровое	378
Белозерск	359	Бобруйск	453	Житомир	430
Инжкино	361	Новое Королево	408	Полибино	418
Вологда	365	Калуга	394	Киев	457
Полушкино	377	Горки	406	Октябрьский городок	415
Москва	387	Новозыбков	406	Оренбург	413
				Чакино	422

же и августе – от количества выпадающих осадков. В резко засушливые годы испарение на 28-30% меньше, чем в годы с избыточным количеством осадков.

Сельскохозяйственная мелиорация болот производится с целью получения максимально возможных (в данных климатических условиях) урожаев сельскохозяйственных культур. Поэтому нужно в первую очередь решить задачу о том, при каком расходе воды на испарение может быть получен максимальный урожай, а затем вторую часть задачи – какими методами можно поддерживать водопотребление на заданном уровне.

Мощно развитые и полностью обеспеченные влагой растения расходуют на свою жизнедеятельность почти всю доступную им энергию, т.е. затраты тепла на испарение равняются величине радиационного

Таблица 4

Величины составляющих теплового баланса неосушенных и осушенных болот (в ккал/см^2 месяц)

Район	Объект	Величина	III	IУ	У	УI	УII	УIII	IX	X	За сезон
Риги	Неосушенное низинное болото.	λE	0,II	I,86	5,65	6,02	5,4I	3,76	0,89	0,I2	23,8
		P	$\sim$ 0	0,07	0,48	I,65	I,90	I,43	I,58	0,30	7,4
-"-	Осушенное, с зерновыми культурами.	λE	0,07	I,II	2,38	7,56	6,97	4,62	0,89	0,I2	23,7
		P		I,54	3,54	$\sim$ 0	$\sim$ 0	0,63	I,60	0,30	7,6
-"-	Осушенное, с многолетними травами.	λE	$\sim$ 0	I,95	6,04	7,62	4,96	6,35	I,33	$\sim$ 0	28,2
		P	$\sim$ 0	$\sim$ 0	0,I4	0,I6	2,27	0,82	0,85	0,09	4,3
Бобруйска	Неосушенное низинное болото.	λE	0,35	4,23	6,95	6,08	5,75	4,I8	0,70	0,3I	28,6
		P	$\sim$ 0	0,I0	0,59	I,67	2,02	I,7I	I,66	I,76	9,5
-"-	Осушенное, с зерновыми культурами.	λE	0,I8	2,52	2,84	7,65	7,40	5,37	0,74	0,30	27,0
		P	0,08	I,73	4,98	$\sim$ 0	0,32	0,53	I,64	I,85	II,0
-"-	Осушенное, с многолетними травами.	λE	0,03	4,39	7,4I	7,7I	5,27	4,78	I,57	0,30	3I,5
		P	$\sim$ 0	$\sim$ 0	0,5I	0,20	2,40	I,00	I,I3	0,I2	5,2

ПРИМЕЧАНИЕ. λE - затраты тепла на испарение,
P - на турбулентный отток в атмосферу.

баланса за вычетом потока тепла в почву (поскольку затраты на фотосинтез не превышают 0,5-I,5% от величины радиационного баланса).

В ранние фазы развития растений, пока они не развернули мощной листовой поверхности, а также после уборки урожая затраты тепла на испарение сравнительно невелики. Таким образом, величина испарения с различных сельскохозяйственных культур на осушенных болотах будет различаться постольку, поскольку различна продолжительность их фаз развития.

Результаты расчета испарения с осушенных болот, занятых зерновыми (яровыми) культурами, приведены в табл.3.

Как видно из этих данных, величина испарения с осушенных болот мало отличается от данных, приведенных в табл.2, а, следовательно, при осушении болот не происходит существенного изменения нормы стока или испарения. В тех случаях, когда осушенные болота заняты многолетними травами, величина испарения с них может быть больше испарения с неосушенных болот на I0-I5%, а в отдельных случаях на 20%.

Наряду со сравнительно малым изменением годовых величин составляющих как водного, так и теплового баланса болот при их осушении и сельскохозяйственном освоении происходит значительное перераспределение этих величин во времени (табл. 4). Выполненные расчеты показали, что величина водопотребления сельскохозяйственных культур на осушенных болотах в летние месяцы (VI, VII, VIII) превышает количество выпадающих в эти месяцы осадков даже в средние по влажности годы. В резко засушливые годы эта разница почти во всех районах Европейской части СССР столь значительна, что получить максимальные урожаи сельскохозяйственных культур без дополнительного орошения невозможно.

ЛИТЕРАТУРА

I. Иванов К.Е. - Основы гидрологии болот лесной зоны. Гидрометеоиздат, Л., I957.

2. Романов В.В. - Гидрофизика болот. Гидрометеоиздат, Л., I96I.

3. Шебеко В.Ф. - Влияние освоения болот на режим испарения. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т.III. Гидрометеоиздат, Л., I959.

А.Р. Константинов, канд. физ.-мат. наук
(УкрНИГМИ, Киев)

ИСПАРЯЕМОСТЬ-КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Под испаряемостью обычно понимают максимально возможное, при данных метеорологических условиях, испарение с подстилающей поверхности, влагозапасы которой неограничены.

К числу факторов, определяющих испаряемость, следует отнести "влагоемкость" воздуха, т.е. его способность воспринимать в себя водяной пар. Эта способность количественно характеризуется дефицитом влажности воздуха. Другим, не менее важным фактором, определяющим испаряемость как максимальное испарение с предельно увлажненной поверхности, является количество тепла, которое может расходовать на испарение данная поверхность в единицу времени. Это количество определяется тепловым балансом поверхности, основной приходной составляющей которого является радиационный баланс. Третьим фактором испаряемости является интенсивность вертикального турбулентного влагообмена, характеризующая способность слоев воздуха, примыкающих к поверхности, переносить водяной пар от поверхности в вышележащие слои.

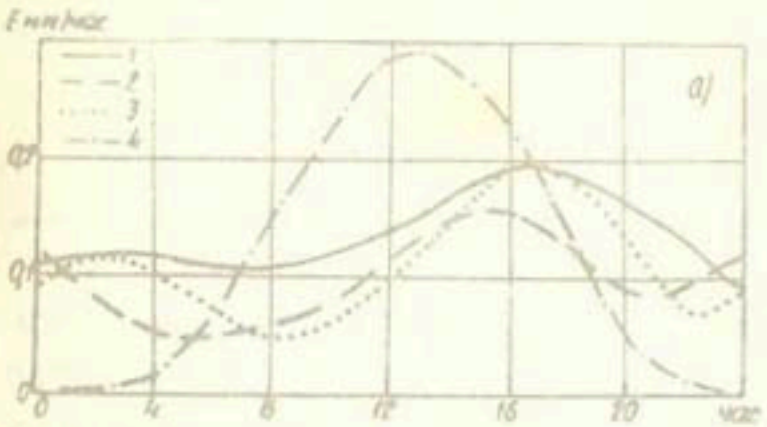
Все три перечисленные фактора непосредственно влияют на величину испаряемости и поэтому последняя выступает как комплексная характеристика внешней среды, в которой произрастают растения. Такой же вывод был сделан рядом авторов, непосредственно исследовавших связь величин испарения с сельскохозяйственных культур с испаряемостью. Испарение с почвы, транспирация растений, а следовательно, и суммарное испарение при неизменных влагозапасах почвы пропорциональны испаряемости.

Прямо или косвенно над разработкой методики определения испаряемости трудился ряд отечественных и зарубежных ученых. В большей части работ за испаряемость принималась величина испарения с водной поверхности испарителей или водоемов. В части этих работ использовались непосредственно измеренные величины испарения, тогда как в других работах для этого применялись эмпирические формулы. Определяющим фактором в последних являлся дефицит влажности воздуха либо его температура.

К числу приборов, с помощью которых можно измерять испаряемость, следует отнести различного рода испарители.

В ряде работ приводятся данные по измерению максимально возможного испарения с помощью испарителей, заполненных предельно увлажненной почвой (паровое поле) или оптимально увлажненной почвой (луг). Несколько разное конструктивное оформление этих приборов не меняет принципиальной стороны дела. Наибольшее количество таких данных получено в Валдайской [7,10] и Дубовской [9] гидрологических лабораториях.

Остановимся подробнее на степени соответствия величин испарения с водной поверхности величинам испарения с предельно или оптимально увлажненной почвы. Поскольку характеристики испарения с водоемов больших размеров (рис.I) в сильной мере отличаются от соответствующих характеристик испарения с поверхности почвы, то при таком сравнении в первую очередь будем использовать данные, полученные с помощью водных испарителей.



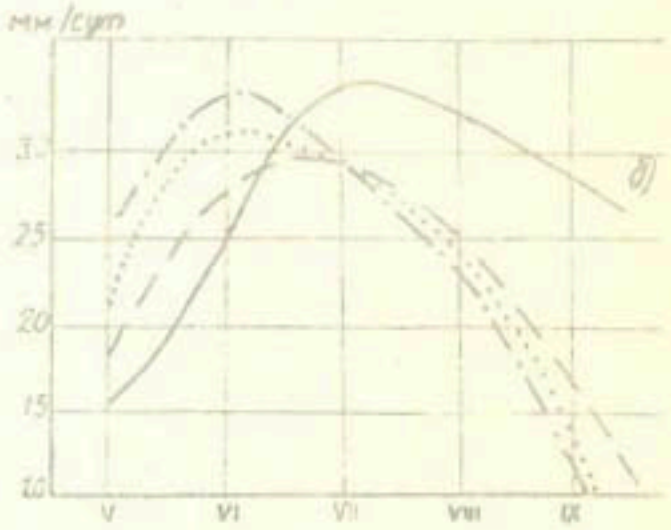


Рис.I. Суточный (а) и сезонный (б) ход испарения с водной поверхности. I - озеро; 2 - бассейн площадью 20 м^2; 3 - испаритель ГГИ - 3000; 4 - луг.

Из рассмотрения рис.I следует, что как суммы испарения, так и суточный и сезонный ход испарения с водной поверхности испарителей ГГИ-3000 и испарительных бассейнов существенно отличны от аналогичных характеристик испарения с поверхности почвы.

Сопоставление средних величин испарения, измеренных с помощью водных испарителей с предельно увлажненной почвы, приводится в табл.I. Из нее видно, что величины испарения с предельно увлажненной почвы в летние месяцы превосходят величины испарения с водной поверхности. Осенью наблюдается обратная картина.

Причина различий суточного и сезонного хода испарения с предельно увлажненной почвы и с водной поверхности заключается, в основном, в различных условиях теплообмена испаряющей поверхности с нижележащими слоями.

Таблица I

Величины испарения (мм),
измеренные с помощью водного испарителя ГГИ-3000
и почвенного испарителя с предельно увлажненной почвы

Испаряющая поверхность	УI	УП	УШ	IX
	В Н И Г Л			
I. Водная поверхность	92	96	80	46
2. Предельно увлажненная почва	I06	I03	87	44
3. Отношение I:2	0,87	0,93	0,92	I,04
	Д Н И Г Л			
I. Водная поверхность	2I8	233	230	I66
2. Предельно увлажненная почва	245	252	262	I67
3. Отношение I:2	0,89	0,92	0,88	I,00

Сказанное выше дает основание сделать вывод о невозможности использования величин испарения с водной поверхности в качестве характеристик максимально возможного испарения с поверхности почвы. К аналогичному выводу пришел и М.И. Будыко [2], сравнивавший энергетические ресурсы испарения с небольших водоемов и аналогичных участков предельно увлажненной почвы.

Рассмотрим вопрос о степени соответствия понятию испаряемости величин испарения с предельно увлажненной почвы, занятой растительностью. В качестве таковой наиболее рационально принять луг. Последний имеет распространение во всех почвенно-климатических зонах, вегетирует в течение почти всей теплой половины года и по нему получено наибольшее количество экспериментальных данных.

Испарение с луга, при прочих равных условиях, зависит от влажности почвы. С целью исследования количественных характеристик связи интенсивности испарения с луга с влагозапасами почвы во ВНИГЛ и ДНИГЛ были поставлены специальные эксперименты, которые заключались в сравнении величин испарения с различных участков поверхности луга, уровень грунтовых вод под которыми был раз-

личным. Более подробно результаты этих экспериментов рассмотрены в работах [7,10]. Здесь мы лишь заметим, что интенсивность испарения с луга оказалась в устойчивой связи с влагозапасами почвы. Максимальное испарение и наибольший прирост травостоя давали те участки луга, корневая система травостоя которых достигала капиллярной каймы грунтовых вод и в то же время в вышележащих слоях не нарушалась аэрация почвы.

Если мы сравним средние величины испарения с предельно увлажненной почвы и с луга, при оптимальных влагозапасах почвы (табл.2), то увидим, что в среднем за теплый сезон испарение с луга несколько превосходит величину испарения с предельно увлажненной почвы. Этот факт объясняется большей шероховатостью луга, в силу чего возрастает интенсивность турбулентности. Осенью величины испарения с предельно увлажненной почвы могут даже несколько превосходить величины испарения с луга. Причиной тому являются большие запасы тепла, накопленные предельно увлажненной почвой в летний период, и сокращение транспирации луга вследствие окончания вегетации.

Таблица 2

Величины испарения, измеренные с помощью испарителя с предельно увлажненной почвой, лишенной растительности, и испарителя с оптимальной увлажненной почвой, покрытой луговой растительностью

Испаряющая поверхность	VI	VII	VIII	IX
		В Н И Г Л		
I. Предельно увлажненная почва	I04	97	88	48
2. Оптимально увлажненная почва (луг)	I86	I38	93	43
3. Отношение I:2	0,56	0,70	0,95	I,I2
		Д Н И Г Л		
I. Предельно увлажненная почва	258	232	244	I34
2. Оптимально увлажненная почва (луг)	276	266	279	I25
3. Отношение I:2	0,93	0,87	0,87	I,08

Ввиду наличия значительной разницы в величинах испарения с предельно увлажненной почвы и с луга, при оптимальном увлажнении почвы последнего, следует сделать вывод о неполной пригодности величин испарения с предельно увлажненной почвы для характеристики максимально возможного испарения с сельскохозяйственных культур. Наиболее подходящие характеристики для этой цели можно получить путем измерения испарения с оптимально увлажненного луга. Этот вывод подтверждается еще и тем обстоятельством, что, согласно работе [10], ход зависимости интенсивности испарения с луга от влагозапасов почвы подобен ходу аналогичной зависимости для большинства сельскохозяйственных культур (зерновые культуры, лен и др.). Кроме того, в период их активной вегетации количество поглощенной радиации лугом и большинством других сельскохозяйственных культур, вследствие близости их альбедо, различается весьма незначительно. Поэтому энергетические ресурсы испарения, а следовательно, и испаряемость с таких сельскохозяйственных угодий практически совпадают.

Прежде чем приступить к построению расчетных графиков для определения максимально возможного испарения с луга, рассмотрим зависимость этой характеристики от площади испаряющей поверхности. Для определения испаряемости с сельскохозяйственных полей различных размеров нельзя непосредственно пользоваться кривой зависимости интенсивности испарения от размера водоема [6,8], поскольку ход кривой трансформации интенсивности испарения в зависимости от площади для воды и для сельскохозяйственных полей будет различным. Это обстоятельство обусловлено различием шероховатости водной поверхности и поверхности сельскохозяйственных полей.

Напомним, что в силу малой шероховатости над водной поверхностью наблюдается резкое возрастание скорости ветра, вследствие чего происходит опускание воздушных масс (линий тока) над водоемом. Указанное обстоятельство приводит к возрастанию вертикальных градиентов влажности воздуха в слоях, примыкающих к водной поверхности. Этот факт, наряду с ростом скоростей ветра, приводит к возрастанию интенсивности испарения над водоемами малых размеров.

Ничего подобного в процессе трансформации воздушного потока над оптимально увлажненными сельскохозяйственными полями не наблюдается. Шероховатость поверхности таких полей не ниже шероховатости окружающей территории. Поэтому здесь не происходит ни усиления скоростей ветра, ни опускания линий тока. Интенсивность

испарения с таких поверхностей максимальна у начальной границы увлажненной зоны со стороны набегающего потока. В дальнейшем, по мере насыщения водяными парами приземного воздуха, интенсивность испарения ослабевает.

Такой ход изменений характеристик воздушного потока над орошаемыми полями гораздо больше соответствует теоретическим схемам трансформации воздушного потока при его набегании с одной подстилающей поверхности на другую. В этом случае мы с большим основанием можем воспользоваться кривыми изменения интенсивности испарения на различных расстояниях от границы орошаемого поля, чем для случаев водной поверхности.

Одной из таких теоретических схем, нашедшей достаточно широкое распространение, является схема Н.И.Яковлевой [I8,I9]. Эта схема положена в основу рекомендаций по учету зависимости интенсивности испарения с орошаемого поля от его размера, изложенных М.И. Будыко и М.И. Юдиным в их совместной статье с Н.И. Яковлевой [3]. Полученную ею кривую трансформации интенсивности испарения на различных расстояниях от границы орошаемого участка автор и К.И. Харченко [9] перестроили на кривую уменьшения интенсивности испарения в зависимости от площади орошаемого поля (рис.2). На этом графике по оси абсцисс отложена площадь орошаемого участка в логарифмическом масштабе, а по оси ординат - отношение интенсивности испарения с ограниченной поверхности к интенсивности испарения с "бесконечно" большой (10^4 км^2), поверхнос-

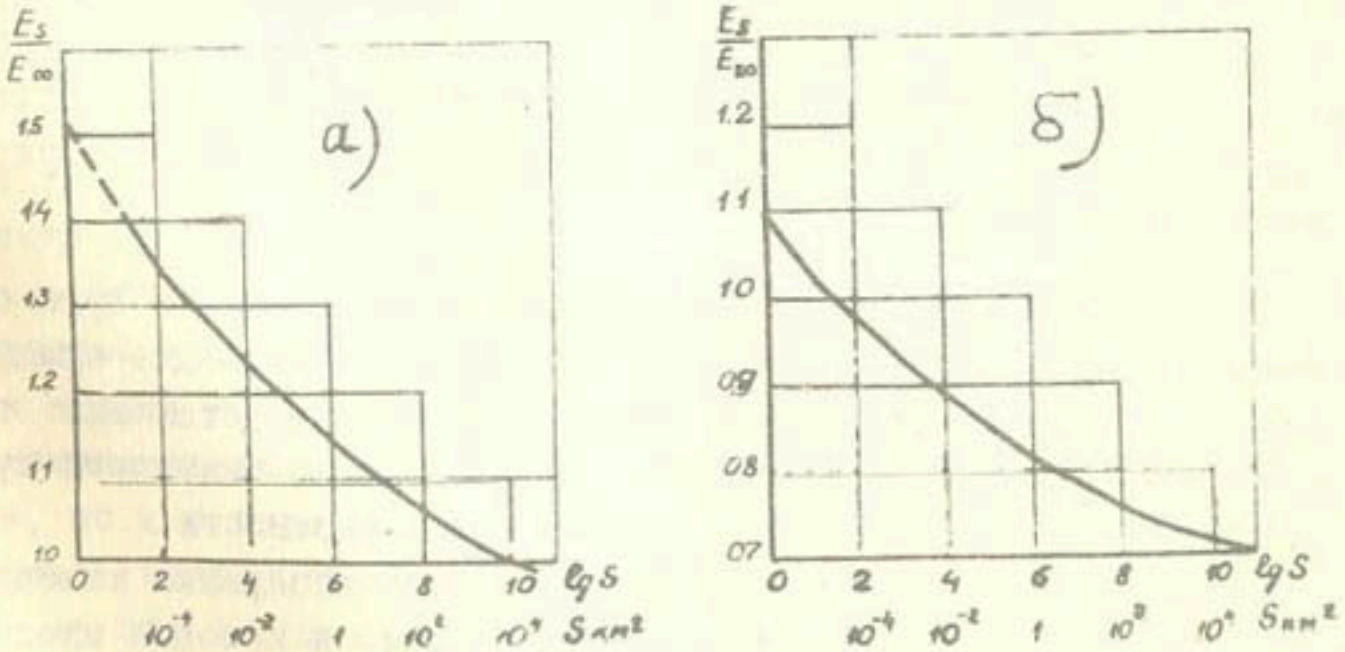


Рис.2. Зависимость интенсивности испарения от площади орошаемого участка.

а) для $\frac{E_S}{E_\infty}$, где E_∞ - интенсивность испарения с орошаемого участка площадью I00xI00 км^2,

б) для $\frac{E_S}{E_{20}}$, где E_{20} - интенсивность испарения с орошаемого участка площадью 20 м^2.

ти (рис.2а). При этом площадь орошаемого участка принимается близкой к квадрату. Кривая трансформации, полученная Н.И. Яковлевой, была принята нами за исходную потому, что она построена для климатических условий, близких к тем, какие имеют место в районе ДНИГЛ. На основании этой кривой в работе [9] был произведен пересчет величин испарения, измеренных по испарителю с предельным увлажнением и рассчитанных по формуле О.С. Познышева [12], по методу Г.Т. Селянинова [13,14] и исправленному радиационному балансу. Для сравнения был привлечен также метод Н.Н.Иванова [4,5]. После приведения величин испарения к одной площади (1 км^2) расхождения между ними уменьшились в полтора раза. Причем величины испарения, определенные по испарителю с предельным увлажнением, радиационному балансу и формуле Иванова, полностью совпали. Этот факт говорит о том, что и в случае определения испаряемости с поверхности увлажненной почвы, как и для водной поверхности, также необходимо учитывать площадь испаряющей поверхности. Для этой цели в первом приближении можно воспользоваться данными, приведенными в какой-либо из теоретических работ по исследованию трансформации воздушного потока при смене подстилающей поверхности и, в частности, графиком, приведенным на рис.2.

Для построения графиков расчета максимально возможного испарения с поверхности луга, при оптимальном увлажнении его почвы, были использованы соответствующие данные, полученные во ВНИГЛ и ДНИГЛ. Как уже указывалось, для этой цели привлекались данные по непосредственному измерению испарения с луга, почва которого увлажнялась в разной степени. В расчет принимались данные по максимальному испарению, что обычно соответствовало наибольшему приросту растительной массы.

Данные измерений максимально возможного испарения с луга были критически просмотрены, после чего в них вносились две следующие поправки. Одна из них обусловлена особенностью установки по определению максимального испарения с предельно увлажненного луга, а вторая связана с размерами испаряющей поверхности.

В Валдае и Дубовке величины максимального испарения измерялись на специальных компенсационных установках, в которые входил целый ряд испарителей с различной степенью увлажнения почвы. В число этих испарителей на ВНИГЛ входил и испаритель с естественно увлажненной почвой, т.е. такой, увлажнение почвы которого соответствовало увлажнению почвы окружающей территории луга, испарение с которого также измерялось . Сопоставление величин испа-

рения, полученных с помощью испарителей с естественным увлажнением почвы, дало возможность оценить степень искажения, вносимого компенсационной установкой.[1] При таком сопоставлении за эталон принималась величина испарения, даваемая испарителем, установленным в пределах естественного луга. При некотором разбросе экспериментальных точек было заметно завышение величин испарения, измеренных с помощью испарителя, входящего в состав компенсационной установки. Это завышение объясняется неполной репрезентативностью места расположения компенсационной установки, повышением уровня испарителей этой установки над уровнем окружающей местности (на Валдае это повышение пренебрежимо мало), а также некоторым конструктивным различием испарителей, входящих в состав компенсационной установки, и обычного испарителя ГГИ-500, установленного на естественном лугу.

При введении поправки, учитывающей особенности испарительной установки, с помощью которой измерялась величина максимально возможного испарения с луга, предполагалось, что полученные вышеописанным способом соотношения сохранятся между показаниями соответствующих испарителей на установке и в поле для случая, если почва всей территории окружающего луга будет оптимально увлажнена. Такое предположение является физически достаточно обоснованным, поскольку влияние на испарение репрезентативности места установки, превышения ее уровня и конструктивных особенностей самих испарителей в этом случае остается таким же, как оно было для случая почвы с естественным увлажнением. На основании вышеизложенного в показания оптимально увлажненных испарителей вносилась упомянутая поправка на отличие условий испарения в месте его измерения от условий испарения с естественного луга при том же увлажнении почвы.

Вторая поправка учитывает площадь испаряющей поверхности, с которой определялось максимально возможное испарение с луга. Как мы видели выше, размер испаряющей площади оказывает существенное влияние на интенсивность испарения не только с водной поверхности, но и с поверхности орошаемых сельскохозяйственных полей. Величина этой поправки определялась с помощью графика, приведенного на рис.2. Численные значения поправки практически совпали с теми, которые получаются для соответствующих площадей при испарении с водной поверхности.

1) В ДНИГЛ величина испарения с естественно увлажненного почвенного монолита испарителя, входящего в состав компенсационной установки, определялась косвенным путем.

Здесь опять встает вопрос: испарение с какой площади испаряющей поверхности оптимально увлажненного луга принять за эталон? Учитывая, что для случая водной поверхности это испарение отнесено к площади 20 м^2, а также то обстоятельство, что в целом ряде случаев имеется практическая необходимость сравнивать интенсивность испарения с оптимально увлажненного луга и водной поверхности, нами принята за эталон интенсивность испарения с поверхности луга площадью 20 м^2. Равенство этих площадей дает возможность корректировать величины испарения с воды и луга.

После внесения упомянутых поправок был построен график зависимости величин испарения с оптимально увлажненного луга площадью 20 м^2 от средних значений температуры и влажности воздуха (рис.3). В последние величины вносилась поправка на сезонный ход этих элементов. Проведенные на графике изолинии величин E_o дают возможность определить значение испаряемости за любой промежуток времени (сутки, декада, месяц, сезон) в различных климатических условиях.

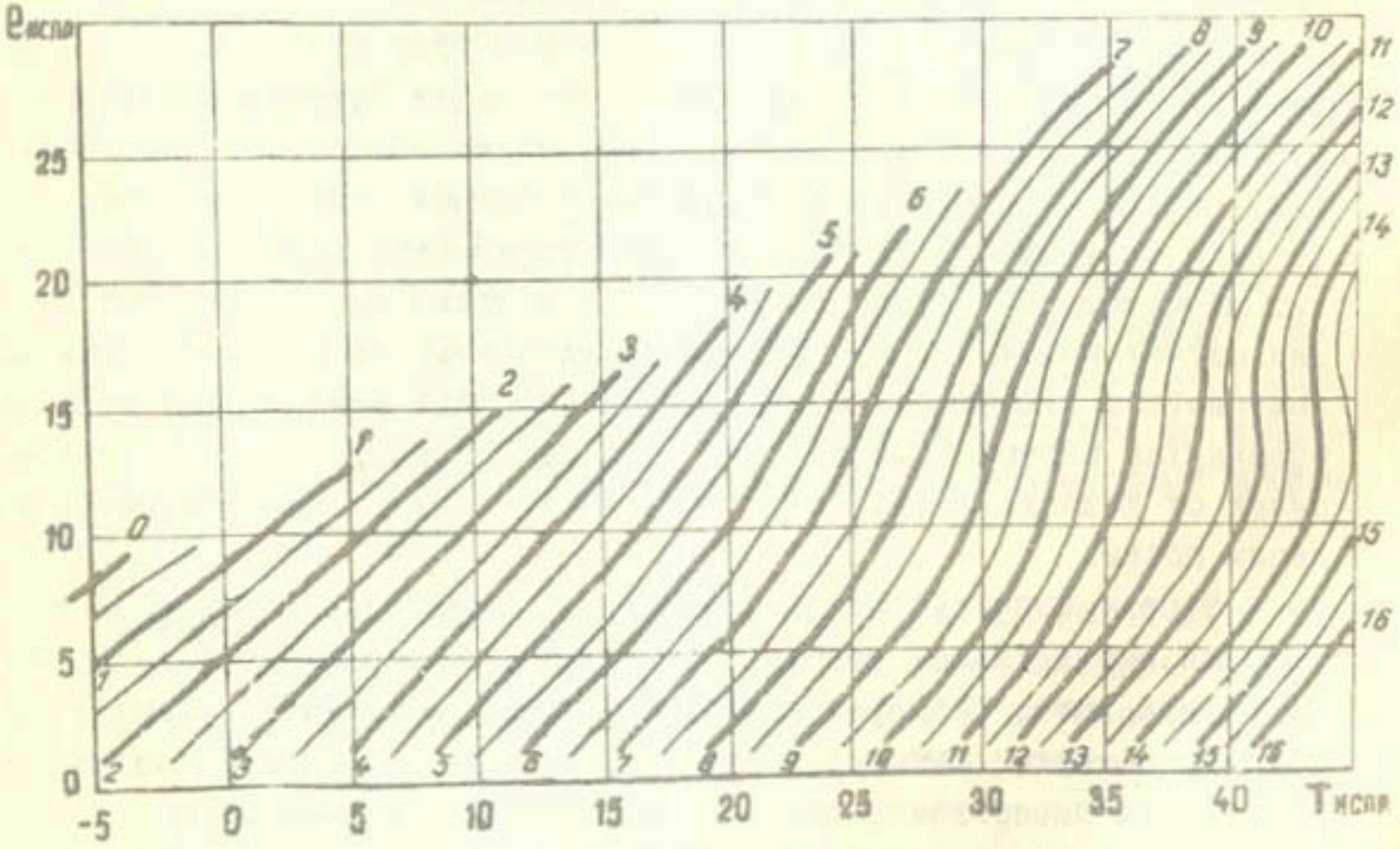


Рис. 3. Зависимость максимально возможного испарения (испаряемости) с луга от температуры и влажности воздуха.

Учитывая размер площади увлажненной поверхности, принятой за эталон, для удобства выполнения практических расчетов была построена кривая зависимости интенсивности испарения от размера орошаемого поля, приведенная на рис.2б. За основу сравнения (т.е.

за единицу) была принята интенсивность испарения с площади испаряющей поверхности, равной 20 м^2. Интенсивность испарения с других площадей характеризуется величиной отношения этой интенсивности к интенсивности испарения с площади 20 м^2. Такой график представлен на том же рисунке. Он дает возможность привести интенсивность максимально возможного испарения с луга как характеристики испаряемости с сельскохозяйственных полей к интенсивности испарения, соответствующей любой другой площади испаряющей поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

I. Берлянд М.Е.-Предсказание и регулирование теплого режима приземного слоя атмосферы. Гидрометеоиздат, Л., I956.

2. Будыко М.И.- О влиянии мелиоративных мероприятий на испаряемость. Изв.АН СССР, сер. географ., № I, I95I.

3. Будыко М.И., Юдин М.И. и Яковлева Н.И.-Испарение с орошаемых участков и испаряемость. Метеорология и гидрология, № I, I954.

4. Иванов Н.Н.-Зоны увлажнения земного шара. Изв.АН СССР, сер. геогр. и геофиз., № 3, I94I.

5. Иванов Н.Н.-Мировая карта испаряемости. Гидрометеоиздат, Л., I957.

6. Константинов А.Р., Голубев В.С. и Покудов В.В. – Исследование характеристик воздушного потока, определяющих изменение испарения с поверхности водоема. Труды ГГИ, вып.8I, I960.

7. Константинов А.Р. и Пушкарев В.Ф.-Характеристика режима испарения и транспирации с сельскохозяйственных полей в зоне избыточного увлажнения. Труды ГГИ, вып. 46(I00),I954.

8. Константинов А. Р., Федорова Т.Г. и Голубев В.С.-Влияние различных факторов на показания водных испарителей, установленных на суше. Труды ГГИ,вып.76, I960.

9. Константинов А.Р. и Харченко К.И.-Оценка испаряемости в районе Сальских степей. Труды ГГИ, вып.57(III),I956.

I0. Константинов А.Р., Харченко К.И., Бархатова И.Р. и Буров В.С. -Исследование режима испарения с сельскохозяйственных полей. Труды ГГИ, вып. 9I, I96I.

II. Лайхтман Д.Л.-Трансформация воздушной массы под влиянием подстилающей поверхности. Метеорология и гидрология, № I,I947.

I2. Позныиев О.С.-Зависимость испарения с поверхности почвы от степени ее увлажнения. Метеорология и гидрология,№ II,I940.

I3. Селянинов Г.Т.-К методике сельскохозяйственной климатологии. Труды по с.-х. метеоролог., вып.22, № 2, Л., I930.

I4. Селянинов Г.Т.-Методика сельскохозяйственной характеристики климата. Мировой агроклиматический справочник.Гидрометеоиздат, I937.

I5. Тимофеев М.П.-Испарение с водной поверхности в турбулентной атмосфере. Ученые записки ЛГУ, сер.физ., вып.7, I949.

I6. Тимофеев М.П.-О трансформации воздуха над водоемами.Метеорология и гидрология, № 6, I955.

I7. Юдин М.И.-Анализ изменения термического режима при орошении. См.монографию Будыко М.И., Дроздов О.А., Львович М.И.,Погосян Х.П., Сапожникова С.А., Юдин М.И. "Изменение климата в связи с планом преобразования природы засушливых районов СССР". Гидрометеоиздат, Л., I952.

I8. Яковлева Н.И.-Расчет испарения с водной поверхности при различных граничных условиях. Труды ГГО,вып.33(95), I952.

I9. Яковлева Н.И.-Трансформация воздуха под влиянием водной поверхности. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т. III, Гидрометеоиздат, Л., I959.

Р.Н. Олейник, мл. науч. сотр.,
Л.И. Сакали, доц., канд. геогр. наук
(УкрНИГМИ, Киев)

ОПЫТ РАСЧЕТА СУММАРНОГО ИСПАРЕНИЯ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ И МОЛДАВИИ

Испарение является одной из основных составляющих теплового и водного балансов подстилающей поверхности. За счет его, как известно, атмосфера не только обогащается влагой, но и обменивается теплом с поверхностью земли. Величины испарения для различных географических районов представляют большой интерес для исследования атмосферных процессов в нижних слоях воздуха и для сельскохозяйственного производства. Последнее обстоятельство является особенно важным.

Именно по этой причине испарение является объектом активного исследования уже на протяжении едва ли не двух столетий. Обилие литературы по этому вопросу не позволяет дать даже краткий ее анализ в пределах рассматриваемой статьи.

К сожалению, следует отметить, что работ, посвященных исследованию суммарного испарения на территории Украины и Молдавии, почти нет. Испарение в этих районах рассматривалось в связи с исследованием его для всего Союза в целом. При этом не могли быть выявлены особенности в распределении величин суммарного испарения ограниченных территорий, и в частности, Украины и Молдавии. Поэтому надо признать целесообразным рассмотрение годовых сумм и внутригодовых норм суммарного испарения для указанной территории.

В данной статье приводятся результаты расчета суммарного испарения, выполненные методом А.Р. Константинова [5,6,8,9]. Этот метод выгодно отличается от других тем, что позволяет рассчитать суточные, декадные, месячные и годовые величины суммарного испарения по данным стандартных наблюдений за температурой и влажностью воздуха. Его использование не требует постановки каких-либо дополнительных измерений на сети метеорологических станций, что

делает метод простым и оперативным в работе. Кроме того, по этому методу не требуются знания величин выпадающих осадков, которые, как показали выполненные в последние годы работы по критической оценке точности измерения осадков на сети метеорологических станций [2,14,18], недоучитываются в среднем на 20%. Полученные выводы о недоучете значительного количества осадков являются очень важными. Они делают неприменимыми все эмпирические и полуэмпирические схемы расчетов испарения, построенные на использовании данных наблюдений над осадками. В методе А.Р.Константинова осадки учитываются косвенно, через температуру и влажность воздуха. Предполагается, что всякое изменение в количестве выпадающих осадков находит свое отражение в изменениях температуры и влажности воздуха. Это справедливо, конечно, только в том случае, когда температура и влажность воздуха формируются в результате тепло- и влагообмена с подстилающей поверхностью, а не являются результатом адвективного переноса.

Результаты проверки метода, выполненные по данным инструментальных наблюдений [8,9], показали удовлетворительное согласование рассчитанных и измеренных величин. На Украине, к сожалению, отсутствуют систематические инструментальные измерения суммарного испарения. Летом 1960 г. были организованы наблюдения на агрометеостанции Киев и на станции физики приземного слоя атмосферы УкрНИГМИ в с. Ховтнево Днепропетровской области. Результаты сравнения рассчитанных и измеренных величин приведены в табл. 1.

Таблица I

Сопоставление рассчитанных и измеренных величин суммарного испарения, мм

Период наблюдений в 1960 г.		Киев		с. Ховтнево	
месяцы	декады	рассчитанные величины	измеренные величины	рассчитанные величины	измеренные величины
	I	20	20	-	-
май	II	28	20	-	-
	III	30	36	-	-
	Сумма	78	76	-	-

Период наблюдений в 1960 г.		Киев		с. Ковтнево	
месяцы	декады	рассчитанные величины	измеренные величины	рассчитанные величины	измеренные величины
Июнь	I	23	22	22	27
	II	26	27	27	29
	III	28	29	34	31
	Сумма	77	78	83	87
Июль	I	26	10 [1/]	-	-
	II	30	33	-	-
	III	31	37	-	-
	Сумма	87	82	-	-

Как видно из этой таблицы, различия между месячными рассчитанными и наблюдаемыми величинами суммарного испарения меньше 10%. Декадные же величины расходятся между собой несколько больше.

Для расчета средних многолетних величин суммарного испарения использовались климатологические данные по температуре воздуха и упругости водяного пара для 100 станций Украины и Молдавии.

Рассмотрим распределение величин суммарного испарения по территории Украины и Молдавии в отдельные сезоны и в среднем за год.

В зимний период на территории Украины и Молдавии суммарное испарение изменяется в пределах от 10 до 40 мм за сезон. Зимой величины суммарного испарения убывают с юга на север и с запада на восток. Однако последняя зависимость выражена менее отчетливо. В этот период суммарное испарение, как и следовало ожидать, изменяется по рассматриваемой территории незначительно, что является следствием слабых температурных контрастов.

Частые оттепели, обусловливающие более высокие температуры и большую повторяемость капельно-жидких осадков в западных и южных районах Украины, способствуют росту величин суммарного испарения. Так, в западных областях Украины средние многолетние температуры воздуха в зимний период составляют: для Ужгорода $-1,5^{\circ}$, для Львова и Дрогобыча $-3,1^{\circ}$. В то же время на востоке отмеча-

---

1/ Величина сомнительна, так как испаритель был залит водой после выпадения обильных осадков.

ются более низкие температуры: Луганск -5,8°, Старобельск -6,4°. Аналогичная картина получается при сопоставлении температурных условий северных и южных областей Украины. Для южных станций-Болград, Одесса, Херсон-средние многолетние значения температуры в этот период составляют соответственно -1,3 , -1,7 и -2,1°, а на севере территории-для станций хутор Михайловский, Глухов и Сумы - соответственно -7,1 , -7,6 , -7,0°.

На территории Молдавии испарение в зимний период изменяется от 20 до 40 мм за сезон. Наибольшее испарение в рассматриваемый период наблюдается в Закарпатье (Ужгород-41 мм за сезон) и в Причерноморской степи (Одесса-35 мм за сезон), где повышения температуры сочетаются со значительным количеством осадков. Наименьшее испарение за зимний период наблюдается на севере Украины и составляет всего 7 мм (хутор Михайловский, Сумская область).

В течение зимы величина суммарного испарения на рассматриваемой территории изменяется незначительно. Минимальное испарение на всех станциях отмечается в декабре. В этот период оно меньше 10 мм/мес. Малые величины испарения наблюдаются и в январе. Переход же к февралю сопровождается ростом величин суммарного испарения в среднем на 10 мм/мес.

В весенний период суммарное испарение на всей рассматриваемой территории резко возрастает, что является следствием роста радиационного баланса и влагозапасов почвы. При переходе от февраля к марту суммарное испарение увеличивается в среднем на 20 мм за месяц. Весной на территории Украины и Молдавии испарение изменяется от 200 мм на западе до 120 мм за сезон на юге.

Южные районы характеризуются наименьшими величинами суммарного испарения (Одесса-128 мм, Скадовск-126 мм за сезон), что является следствием уменьшения количества осадков в береговой полосе, особенно в конце апреля и в мае. Сумма осадков за весенний период для приморских станций соответственно равна в Одессе 92 мм, в Херсоне 97 мм, в Очакове 76 мм, в Жданове 110 мм, в Бердянске 95 мм. Южные континентальные станции характеризуются несколько большим количеством осадков. Так, в Кировограде сумма осадков равна 120 мм, в Днепропетровске-123 мм, в Кишиневе-135 мм[1].

На западе Украины (в районе Карпат) отмечаются максимальные величины суммарного испарения, превышающие 200 мм за сезон (Ужгород -206 мм, Тячево -209 мм), что объясняется повышенным увлажнением за счет образования и выпадения дополнительного количества орографических осадков. В среднем за весенний период здесь выпада-

---

[1] Величины осадков увеличены согласно работе [2] на 12%.

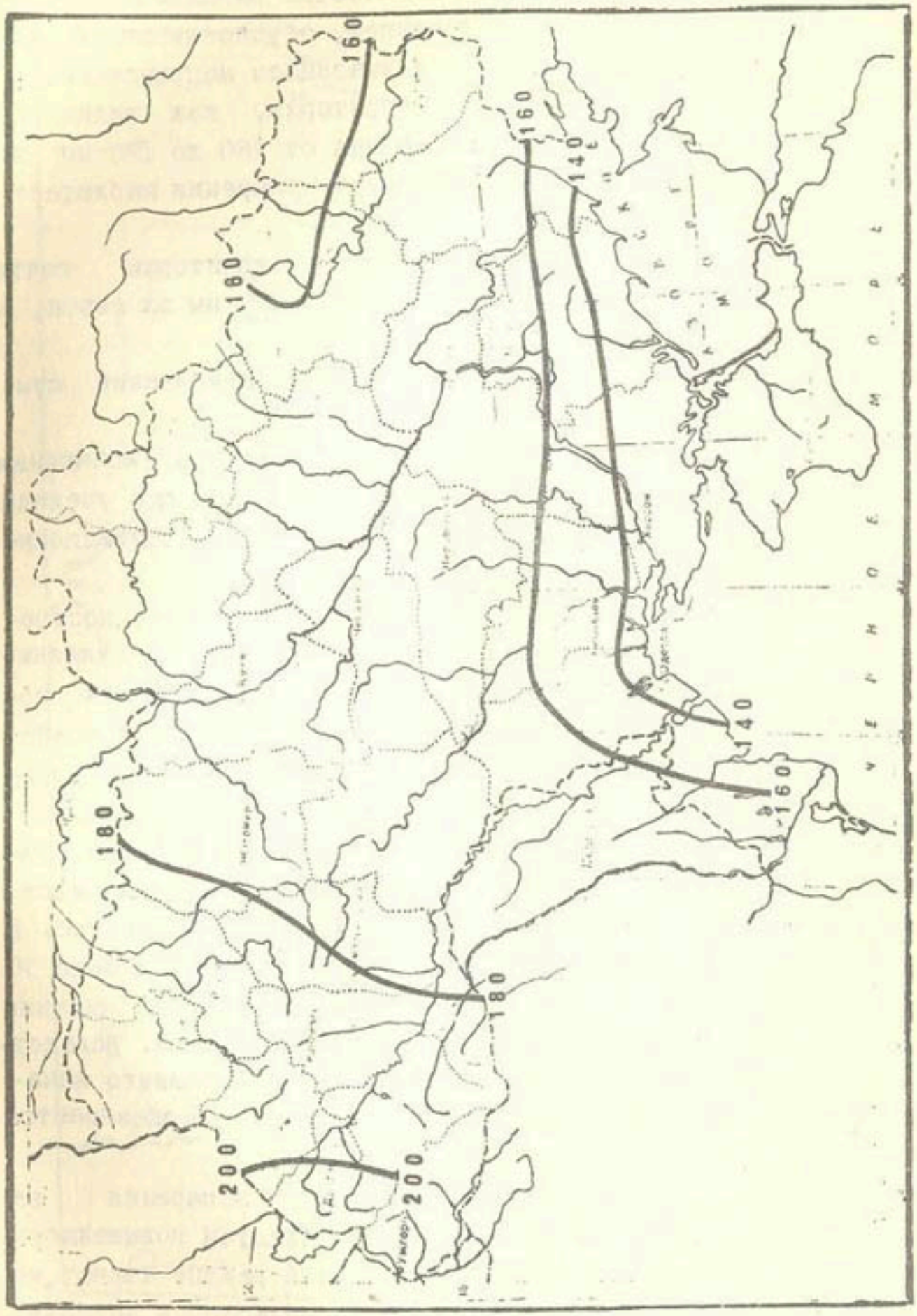


Рис. I. Суммарное испарение за весенний период (в мм).

ет более 200 мм осадков (Ужгород-I86 мм, Хуст-246 мм, Ясина-226 мм.) В то же время восточные районы УССР характеризуются значительно меньшим количеством осадков (Луганск-I3I мм, Старобельск-III мм, Донецк -I27 мм). Уменьшение количества выпадающих осадков с запада на восток и является причиной, обусловливающей изменение величин суммарного испарения в указанном направлении.

Остальная часть рассматриваемой территории, как видно из рис.I, характеризуется величинами испарения от I60 до I80 мм за сезон. Незначительное увеличение суммарного испарения наблюдается в центральной части Украины.

В Молдавии в весеннее время испарение по территории почти не изменяется. На юге республики оно близко к I80 мм за сезон, а на севере - I75 мм.

В течение весны на всей территории Украины и Молдавии суммарное испарение меняется резко.

Особенно резкое изменение в величинах суммарного испарения отмечается при переходе от апреля к маю. В это время оно увеличивается более чем в I,5 раза, что объясняется ростом радиационного баланса при значительных запасах влаги в почве.

На всех прилагаемых картах, в том числе и на карте, построенной за весенний период, отмечается хорошо выраженное влияние Черного и Азовского морей на режим испарения с подстилающей поверхности. Изолинии испарения как бы очерчивают морской бассейн и прилегающие к нему районы, отделяя их от всей остальной территории Украины и Молдавии.

Летний период характеризуется максимальными величинами суммарного испарения (рис.2). Переход от мая к июню сопровождается увеличением испарения в среднем по территории на I0-20 мм/мес. В северных районах Украины это возрастание более значительно-до 30 мм/мес., а на юге почти отсутствует, что связано с более низкими влагозапасами почвы в начале лета по сравнению с весной. Вследствие небольшого количества весенних осадков и более раннего начала вегетации растений почва здесь к началу лета оказывается уже сухой.

Как видно из рис.2, распределение суммарного испарения за летний период характеризуется наличием трех областей повышенного испарения с величинами более 280 мм за сезон: в районе Карпат, на северо-западе Украины (Волынская и Ровенская области) и на севере (Сумская область). Значительное испарение в горной местности вызывается, аналогично зимнему и весеннему периодам, большим количеством выпадающих здесь осадков с той лишь разницей, что зимой

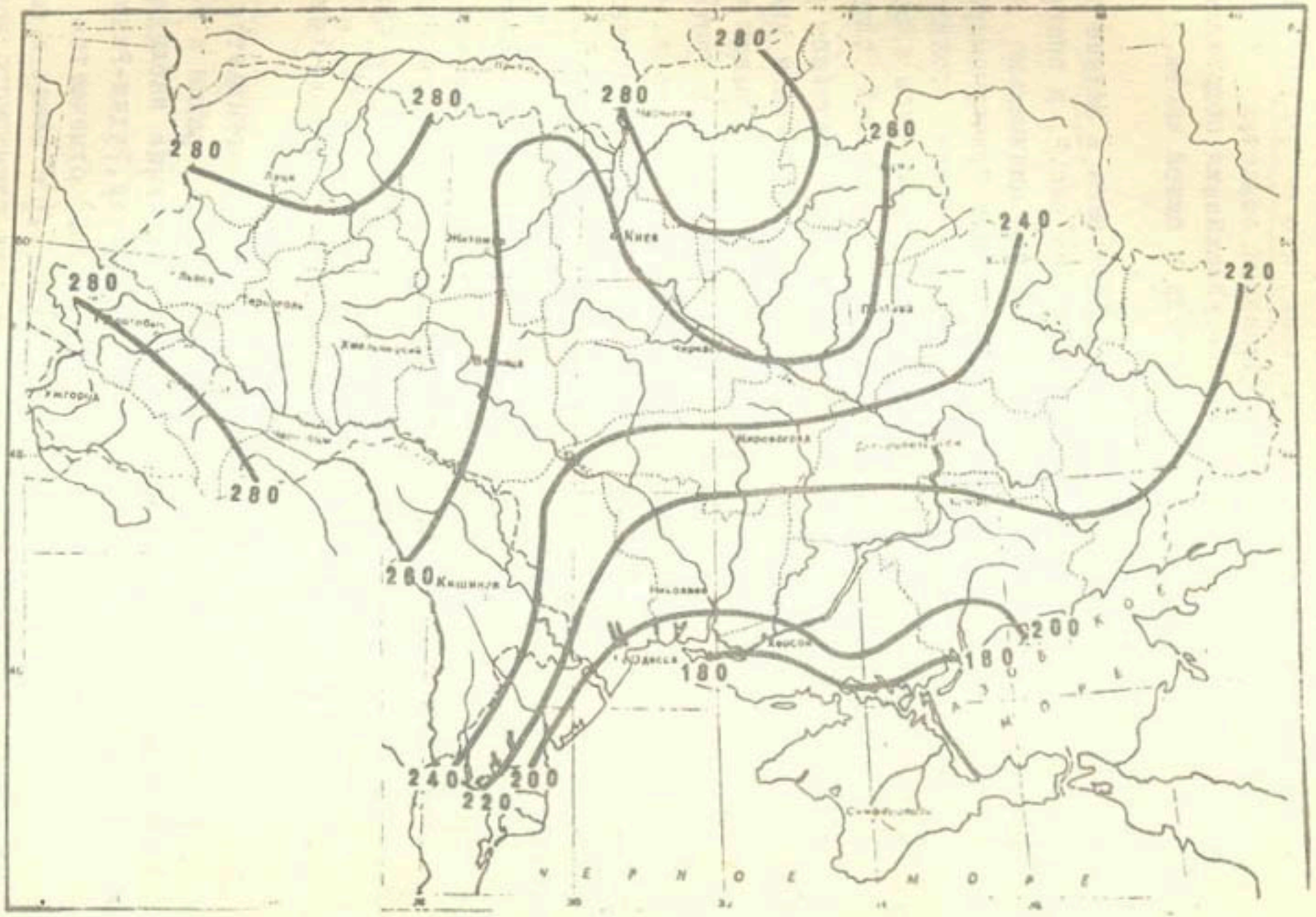


Рис. 2. Суммарное испарение за летний период (в мм).

и весной осадки увеличиваются за счет образования дополнительных восходящих токов, а летом - за счет усиления и развития орографической конвекции. Исследования [I,I6] показывают, что в районе Карпат количество осадков в летнее время по сравнению с равнинными станциями больше на 25-30%. К северо-востоку от Карпат наблюдается уменьшение величин суммарного испарения, что обусловлено ветровой тенью горных хребтов. В северо-западных областях Украины испарение возрастает за счет избыточного увлажнения подстилающей поверхности. Это относится в первую очередь к южной части Полесья, занятой болотами и лесами.

Влияние моря на количество испаряющейся влаги в летнее время проявляется особенно отчетливо. Как видно из рис.2, в прибрежных районах Черного и Азовского морей испарение минимально (менее 200 мм за сезон). Малы и влагозапасы почвы в Причерноморской степи. По данным Н.Г. Йовенко [4], средние запасы продуктивной влаги под озимыми и яровыми культурами в метровом слое в этот период (от цветения до восковой спелости) в 40-60% случаев меньше 50 мм, т.е. ниже тех значений, которые обусловливают удовлетворительные урожаи. К северу запасы продуктивной влаги увеличиваются, что приводит к росту суммарного испарения. В южной части лесостепной зоны Украины запасы продуктивной влаги в течение всего периода вегетации составляют около I00 мм, благодаря чему испарение повышается до 240 мм за сезон. Пониженные величины испарения отмечаются и на востоке УССР (2I0-220 мм за сезон).

Между Приднепровской возвышенностью и Днепром, в северо-западной части Приднепровской низменности, имеет место область сравнительно пониженного испарения (260 мм за сезон и меньше). Понижение испарения в этом районе объясняется, вероятно, уменьшением заболоченности почв и лесистости. К северо-востоку и к северо-западу от этого района, как показывают исследования [I3], несколько увеличивается лесистость (на I5-I7%) и заболоченность почв, что сопровождается ростом испарения.

В течение лета, от июня к августу, испарение понижается в среднем на I8-20 мм/мес. Для большинства станций Украины и Молдавии максимальные месячные нормы суммарного испарения наблюдаются в июне. Для отдельных станций (Новоград-Волынский, Рудня-Радовельская, Житомир, Згуровка, Миргород, Глухов и др.) отмечается небольшое увеличение испарения в июле по сравнению с июнем и августом. Для этих станций максимум в годовом ходе суммарного испарения смещается с июня на июль.

В летний период на всей территории Украины и Молдавии, кроме районов Карпат, испарение превышает осадки. Максимальные отрица-

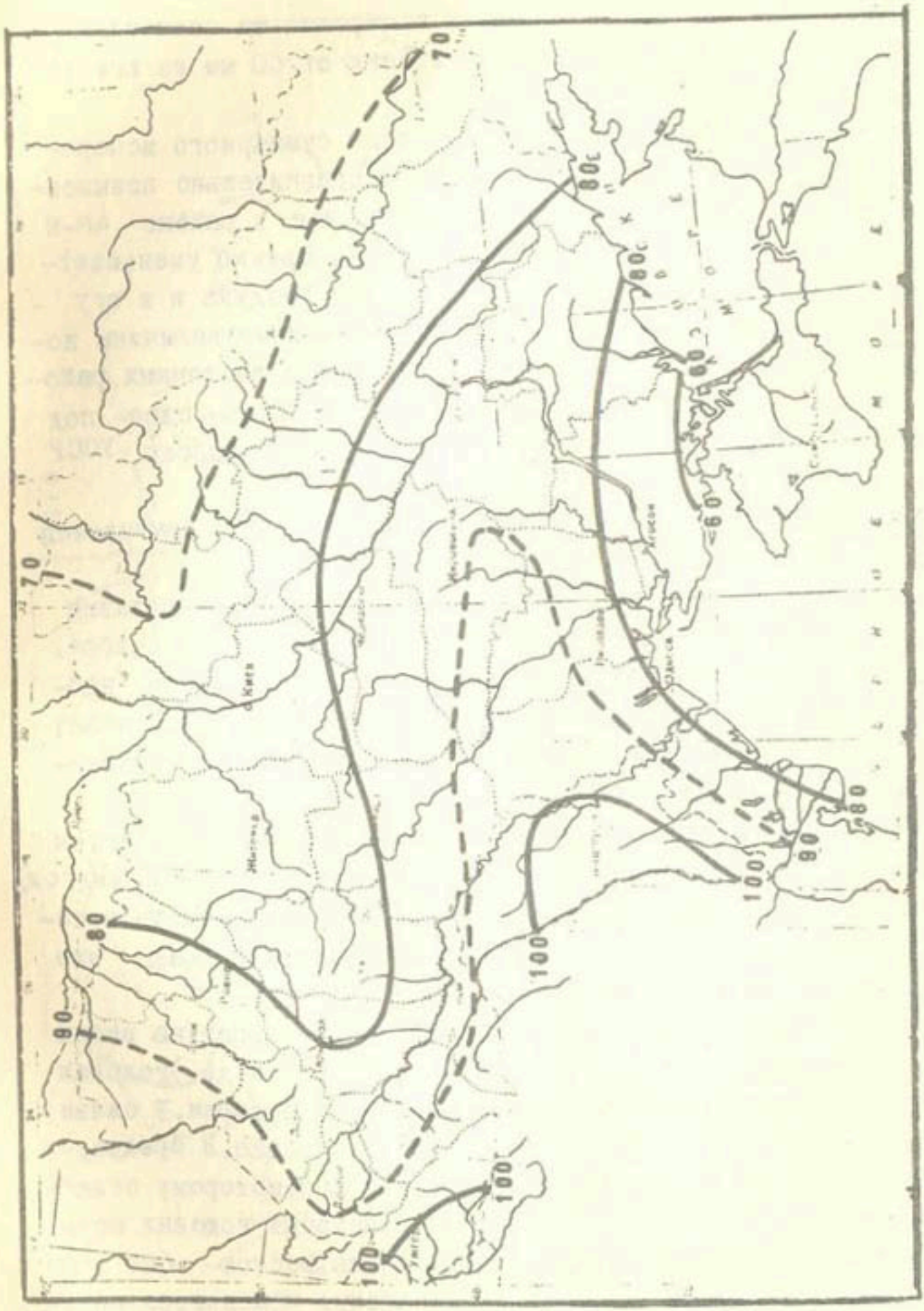


Рис. 3. Суммарное испарение за осенний период (в мм).

тельные разности между осадками и испарением наблюдаются на юге, а максимальные - на севере.

Распределение величин суммарного испарения в осенний период времени представлено на рис.3. Переход от лета к осени сопровождается уменьшением испарения. Суммарное испарение за осенний период изменяется на рассматриваемой территории от 60 мм на юге Украины до 110 мм за сезон в Закарпатье.

Отличительной особенностью распределения суммарного испарения за осенний период является наличие зоны сравнительно повышенного испарения (90 мм за сезон) на Правобережье в районе 48-й параллели. К северу и югу от указанной зоны испарение уменьшается: к северу-вследствие понижения температуры воздуха и к югу - вследствие уменьшения количества осадков. Пониженные величины испарения (до 70 мм за сезон)наблюдаются и в северо-восточных районах УССР. Средние запасы продуктивной влаги в метровом слое под зерновыми большую часть осени в южных и восточных районах УССР составляют около 50 мм.

На территории Молдавии испарение в осенний период изменяется в пределах от 90 до 110 мм за сезон.

В течение осени испарение на территории Украины и Молдавии уменьшается от 40-60 мм/мес. в сентябре до 4-20 мм/мес.в ноябре. Сравнительно небольшие колебания испарения в течение осени наблюдаются на западе Украины, где оно от сентября к ноябрю убывает примерно в 4 раза. Наибольшие изменения месячных величин испарения отмечаются в северных районах Украины.

Распределение годовых величин испарения (рис.4) оказывается довольно сложным.Высокие нормы суммарного испарения(550-650 мм/год) имеют место на западе Украины. Здесь они сохраняются в течение всех сезонов года и являются следствием, как уже указывалось, повышенного увлажнения.

На годовой карте хорошо проявляется влияние Карпат на режим испарения. В Закарпатье (Ужгород, Берегово, Тячево и др.)годовая величина испарения-максимальная для изучаемой территории.В связи со сложным рельефом оно меняется здесь довольно резко.В Предкарпатье увлажнение заметно меньше, что приводит к некоторому ослаблению испарения (до 570 мм/год). Заметное изменение годовых норм испарения наблюдается в направлении с запада на восток (от 550 до 450 мм/год). В широтном направлении испарение изменяется примерно на 140-160 мм/год. В прибрежных районах Черного и Азовского морей испарение составляет всего 390-410 мм/год. Здесь за счет влияния моря отмечаются значительные горизонтальные градиен-

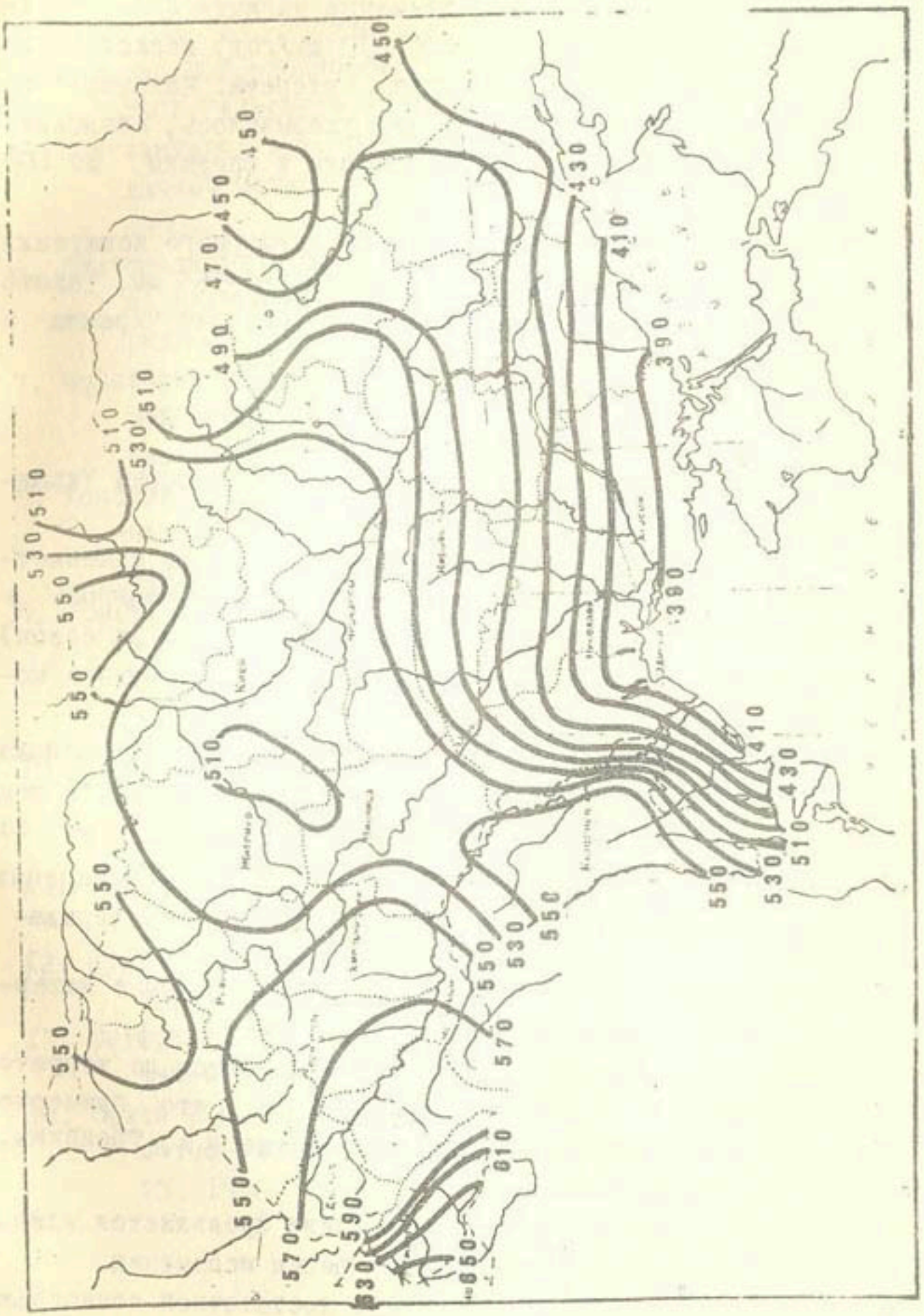


Рис. 4. Годовые нормы суммарного испарения (в мм).

ты испарения. На западе Одесской области (Измаил, Болград, Сарата, Белгород-Днестровский, Базарьянка и др.) в среднем за год выпадает около 430 мм осадков, а на территории Молдавии-550 мм и более, что обусловливает высокие горизонтальные градиенты испарения в этом районе. Обращает на себя внимание наличие области относительно пониженного испарения (около 510 мм/год) несколько западнее Киева, в районах Казатина, Фастова, Тетерева. Некоторое понижение испарения в этих районах, как уже указывалось, объясняется, по всей вероятности, уменьшением лесистости в среднем до 10% [13].

На большей части Украины годовые нормы суммарного испарения составляют около 500 мм. В Молдавии они равны 550-565 мм. Таково распределение норм суммарного испарения по территории Украины и Молдавии.

Выводы

1. В зимний период суммарное испарение на территории Украины и Молдавии изменяется от 10 до 40 мм за сезон.

2. Весной на рассматриваемой территории испарение изменяется от 120 до 230 мм за сезон. Наибольшие значения испарения в этот период отмечаются на западе Украины (более 200 мм за сезон) и наименьшие - на юге республики, в прибрежной полосе Черного моря.

3. Летний период характеризуется максимальными величинами суммарного испарения. На западе Украины (в районе Карпат), а также на севере и северо-западе республики они превышают 290 мм за сезон. В этот период рассчитанные величины суммарного испарения хорошо согласуются с данными о влагозапасах почвы и подтверждаются ими.

4. В осенний период испарение изменяется от 110 мм в Закарпатье до 60 мм за сезон на юге.

5. Годовые нормы суммарного испарения изменяются по территории Украины и Молдавии от 390 до 650 мм/год, что примерно на 20% превышает аналогичные величины, полученные В.А. Троицким, П.С. Кузиным и др.

6. На годовых и сезонных картах отчетливо проявляется влияние Черного и Азовского морей и Карпат на режим испарения.

7. Метод А.Р. Константинова в связи с достаточной точностью и простотой можно рекомендовать для практических расчетов суммарного испарения.

ЛИТЕРАТУРА

I. Богатырь Л.Ф.-Распределение осадков по территории Украины при прохождении циклонов различной траектории. Труды УкрНИГМИ, вып.7, I957.

2. Голубев В.С.-Об учете дождевых осадков различными приборами. Труды ГГИ, вып.8I, I960.

3. Заварина М.В.-Засуха и меры борьбы с нею. Географиздат, I956.

4. Йовенко Н.Г.-Водно-физические свойства и водный режим почв УССР. Гидрометеоиздат, I960.

5. Константинов А.Р.-Обоснование методики расчета испарения по данным метеорологических станций. Труды ГГИ, вып.54/I08/, I956.

6. Константинов А.Р.-Основы методики расчета испарения с почвы по данным метеорологических станций. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т.III, I959.

7. Константинов А.Р., Филатова Т.Н.-Режим испарения с сельскохозяйственных полей степной и лесостепной зон Европейской части СССР. Труды ГГИ, вып. 76, I960.

8. Константинов А.Р.-Методика расчета испарения с почвы, воды и снега по температуре и влажности воздуха, измеренным на метеорологических станциях. Труды ГГИ, вып.8I, I960.

9. Константинов А.Р., Кудина А.В.-Методика расчета суточного хода испарения с поверхности почвы и снега по температуре и влажности воздуха, измеренным на метеорологических станциях. Труды УкрНИГМИ, вып.3I, I96I.

I0. Кузин П.С.-График испарения с поверхности речного бассейна и его применение к расчетам среднего многолетнего стока. Записки ГГИ, т.I2, I934.

II. Кузин П.С.-Об испарении с поверхности почвы. Труды ГГИ, вып.7, I938.

I2. Кузин П.С.-Испарение с поверхности суши на территории СССР.. Труды ГГИ, вып.26, I950.

I3. Онуфриенко Л.Г.-Карта относительной лесистости территории Украины. Труды УкрНИГМИ, вып.4, I955.

I4. Орлов Г.И.-К вопросу об изменении снежных осадков. Методика метеорологических наблюдений. Труды НИУ ГУГМС, сер.I, вып. 23, I946.

I5. Поляков Б.В.-Изменение влажности почв и причина их просыхания. Труды ЦИП, вып.4, I947.

I6. Ромов А.И.-О влиянии Карпат на осадки, выпадающие над территорией Украины. Труды УкрНИГМИ, вып.5, I956.

I7. Синицина Н.И.-Годовой ход суммарного испарения на юге Европейской части СССР. Труды ЛГМИ, вып. 5-6,I956.

I8. Хаскина Н.И.-К вопросу о способах и точности измерения зимних осадков. Метеорология и гидрология, № 9, I952.

И.С. Шпак, канд.геогр.наук
(УкрНИГМИ, Киев)

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСПАРЕНИЯ С ПОЧВЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ВОДНОГО БАЛАНСА

Массовые наблюдения над влажностью почвы на агрометстанциях производятся лишь на глубину до I м. Сетевые наблюдения над испарением с с.-х. культур ведутся по испарителям высотой 0,5 и I м. В обоих случаях предполагается, что изменения влагозапасов глубже I м являются пренебрежимо малыми.

В настоящем сообщении будет показано, что в ряде случаев слой, в котором наблюдаются значительные сезонные изменения влажности, выходит далеко за пределы I м; в связи с этим учет продуктивных влагозапасов и расходование их на испарение надо вести для большинства культур в пределах 2-3 - метровой толщи почво-грунта.

Совершенно очевидно, что если к началу вегетации продуктивные влагозапасы имеются лишь в верхнем 0,5-I - метровом слое почвы, а глубже, до нижней границы возможного распространения корневой системы растений, влажность почвы находится на уровне влажности завядания, то расходование воды на испарение происходит лишь с этого 0,5-I - метрового слоя. Это подтверждается многочисленными данными наблюдений.

Незначительная глубина иссушения почвы, порядка 0,5-I м, может наблюдаться и при любом распределении влажности по глубине, однако лишь в случае, когда поле представлено паром или глубина корневой системы растений не выходит за пределы этого слоя.

В годы же, когда к началу вегетации продуктивные влагозапасы имеются в 3-5 - метровом слое, а последующий период является засушливым, большинство с.-х. культур в лесостепных и степных районах используют влагу 2-3 -метровых слоев почво-грунта, а древесная растительность - 3-4 - метровых. Этот вывод получен многими исследователями по материалам наблюдений над влажностью почвы до глубины 3-5 м [I-3, 7-I2, I6-I7, 2I-22, 24, 26-29, 3I--32]. Он подтверждается также наблюдениями за глубиной распространения корневой системы растений. Еще В.Г. Ротмистров установил [23], что на юге Украины корневая система кукурузы и подсолнечника достигает I,5 м в глубину. По данным О.Г. Грамматикати [I2], к концу вегетации на предкавказских черноземах корни озимой пшеницы достигают 3 м; в Заволжье корни кукурузы распространяются на глубину 2 м, а у подсолнечника - 2,5 м.

В большинстве перечисленных работ указывается, что в лесных и лесостепных районах на приводораздельных участках и склонах, сложенных лессами и лессовидными суглинками, колебания влажности глубже 3-4 м настолько незначительны, что они находятся в пределах точности определения влажности.

Учитывая это обстоятельство, а также то, что на глубине 3-4 м в указанных выше условиях грунт содержит лишь малоподвижную влагу [25], принимается, что глубже 3-5 м вода не просачивается. Пополнение запасов грунтовых вод в лесостепной и степной зонах происходит лишь в местах длительного застоя воды на поверхности почвы (совершенно плоские участки, тальвеги временных водотоков, замкнутые понижения, места скопления снежных сугробов) [I0, I5, 22, 27, 29, 3I-32]. На таких участках, за исключением верхнего 2-5-метрового периодически пересыхающего слоя, влажность почвы в зоне аэрации близка к наименьшей влагоемкости.

То, что существенные колебания влагозапасов происходят до глубины 3-4 м, ниже будет показано на материалах наиболее продолжительных наблюдений, проводившихся на Украине в период с I946 по I953 г. Сюда относятся наблюдения Института леса АН УССР в районе Черного леса (Кировоградская обл.), Украинского научно-исследовательского института агролесомелиорации и лесного хозяйства в районе Владимировской (Николаевская обл.) и Мариупольской (Донецкая обл.) станций, а также наблюдения Деркульской опытной станции по полезащитному лесоразведению Института леса АН СССР в Старобельском лесхозе Луганской области.

Методика наблюдений и подробная физико-географическая характеристика указанных районов исследований приведена в работах [5, I3-I4, I8, 22, 26, 28]. Во всех этих районах наблюдения проводились на пологих склонах и приводораздельных участках. Полевые участки в районе Мариупольской станции являются почти плоскими. За исключением Черного леса, находящегося на южной окраине лесостепи, остальные районы относятся к степной зоне. Подпочвой служит лесс или лессовидные суглинки, а почвой, как правило, черноземы. Грунтовые воды залегают глубже I0 м.

Отбор проб на влажность производился в Черном лесу на восьми участках до глубины 5 м через каждые 25 см с однократной повторностью; на Владимировской станции - на пяти участках до глубины 4,5 м через I0-30 см с четырехкратной повторностью; на Деркульской станции - на четырех участках, как правило, до глубины 3 м через I0 см и на двух участках до 8 м через I0-40 см с повторностью в метровом слое - 5-кратной, в слое от I до 3 м -

3-кратной и глубже - однократной; на Мариупольской станции - на 13 участках до зеркала грунтовых вод (6-19м) через каждые 0,5 м с однократной повторностью.

Ход изменения влагозапасов в метровых слоях почво-грунта, начиная со второго метра, показан на рис.1-2. При построении этих рисунков использованы данные, приводимые в работах [5, 13-14,18, 22], а также первичные материалы наблюдений, любезно предоставленные нам авторами [22, 26]. При этом с целью увеличения достоверности изменений запасов во времени произведено осреднение результатов наблюдений на однородных участках. Так, по району Черного леса влагозапасы для леса осреднены по данным 4 участков, а для поля - по двум участкам; для Мариупольской станции результаты осреднены для леса по 8 участкам, для поля - по двум участкам.

В районе Черного леса один полевой участок в 1948 г. был под сахарной свеклой, в 1949 и 1950 гг. - под пшеницей и в 1951 г. представлял собой однолетнюю залежь; второй полевой участок, располагающийся на большой поляне, в 1946-48 гг. был под зерновыми культурами, а в 1949-51 гг. под люцерной; на Владимировской станции в 1948 г. поле было под черным паром, в 1949 г. было занято озимой пшеницей, в 1950 г. - широкорядным посевом проса, а с 1952 г. - многолетними травами (люцерна и житняк); на Деркульской станции поле в 1950 г. было под озимой пшеницей, а в 1951 г. под черным паром и, наконец, на Мариупольской станции одно из полей было занято в 1948-49 гг. люцерной, в 1950 г. - яровой пшеницей, в 1951 г. - овсом, в 1952 г. - черным паром и в 1953 г. - озимой пшеницей. О культурах, возделываемых на втором поле в районе Мариупольской станции, в работе [18] сведений нет.

На всех полевых участках на глубине от 1 до 2 м почти ежегодно наблюдается зимне-весеннее увеличение влагозапасов и летне-осеннее уменьшение их (рис.1). Годовой ход влагозапасов иногда наблюдается и в слое, располагающемся на глубине от 2 до 3 м, а в некоторые годы - даже от 3 до 4 м. На глубине от 4 до 5 м сезонные колебания влагозапасов слегка выражены лишь в районе Мариупольской станции. В большинстве случаев влагозапасы в этом слое характеризуются случайными колебаниями, не выходящими за пределы 10-20 мм.

В районе Мариупольской станции в ряде лет отмечался сезонный ход влажности даже на глубине от 5 до 8 м. Объяснялся он тем, что при весеннем подъеме грунтовых вод в этот слой заходит капиллярная кайма. В остальное время года влажность глубже 5 м слоя

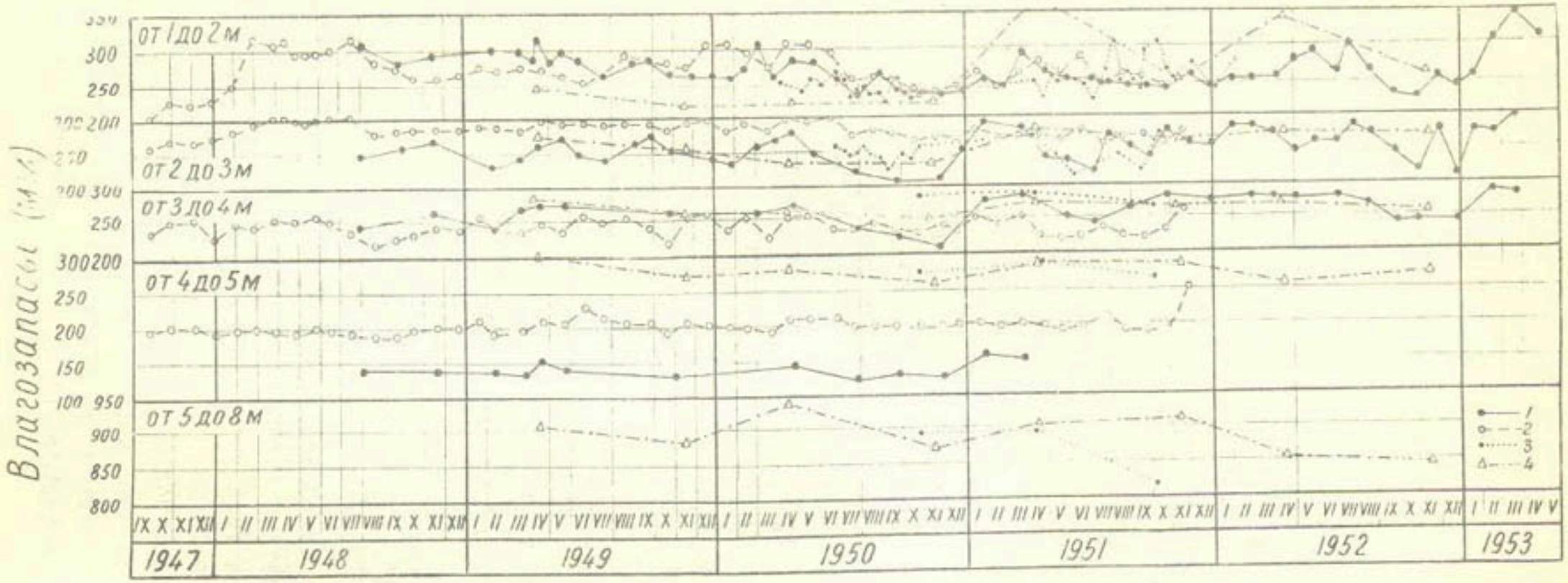


Рис.I. Влагозапасы /мм/ в различных слоях почво-грунта в поле.
I -Владимировская станция, 2 -Черный лес, 3 - Деркульская станция, 4 - Мариупольская станция.

находится на уровне наименьшей влагоемкости. В районе Черного леса, Владимировской и Деркульской станций влажность на глубине 3-5 м близка к влажности разрыва капилляров.

На лесных участках (рис.2) во всех четырех районах в годовом ходе влагозапасов отмечаются одинаковые закономерности. В слое, ограниченном глубинами I-2 м, ежегодно в зимне-весенний период наблюдается увеличение влагозапасов.

В следующем метровом слое (от 2 до 3 м) сезонный ход влагозапасов наблюдается не ежегодно. Лишь на Мариупольской станции во все годы весенние влагозапасы в этом слое были больше осенних. В остальных районах наблюдается незначительное увеличение влажности грунта только в отдельные годы, а большей частью влагозапасы этого слоя характеризуются случайными колебаниями.

Еще менее выражен сезонный ход влажности в слое от 3 до 4 м. Наконец, на глубине от 4 до 5 м закономерные сезонные колебания влажности прекращаются. Амплитуда их составляет 20-30 мм, что находится в пределах погрешностей определения самих изменений влагозапасов. Также случайны колебания средних влагозапасов на глубине от 5 до 8 м.

Выводы некоторых исследователей [I3, I4, I8] о закономерных колебаниях влажности на глубинах от 4 до 8 м в районе Деркульской и Мариупольской станций не подтверждаются.

Сопоставление наблюдаемых величин влагозапасов и погрешностей их измерения показывает, что они одного порядка. Так, среднеквадратичное отклонение средних запасов в метровых слоях на глубинах от I до 5 м, по нашим подсчетам, в Велико-Анадольском лесу составляют 30-35 мм. Следовательно, средние ошибки при 4-кратной повторности отбора проб составляют I5-I7 мм. В случае весьма однородных условий на участке отбора проб на влажность погрешности уменьшаются. Так, по нашим измерениям и подсчетам на почти плоском участке 50 х 50 м, сложенном однородными лессовидными суглинками, в с. Сталинском Днепропетровской обл. (табл.I) среднеквадратичные отклонения изменения влагозапасов в метровых слоях летом I960 г. составляли I0-20 мм. С уменьшением площади участка среднеквадратичные отклонения изменений влагозапасов становятся еще меньше. Но если наблюдения проводились бы даже в одной и той же скважине, то и в этом случае за счет вариации влажности по глубине в пределах метрового слоя среднеквадратичные отклонения изменений влагозапасов достигали бы в верхнем метровом слое I2 мм, а в последующих слоях 4-5 мм.

При длительных систематических наблюдениях над влажностью почвы, за счет того, что в каждый последующий срок делается сме-

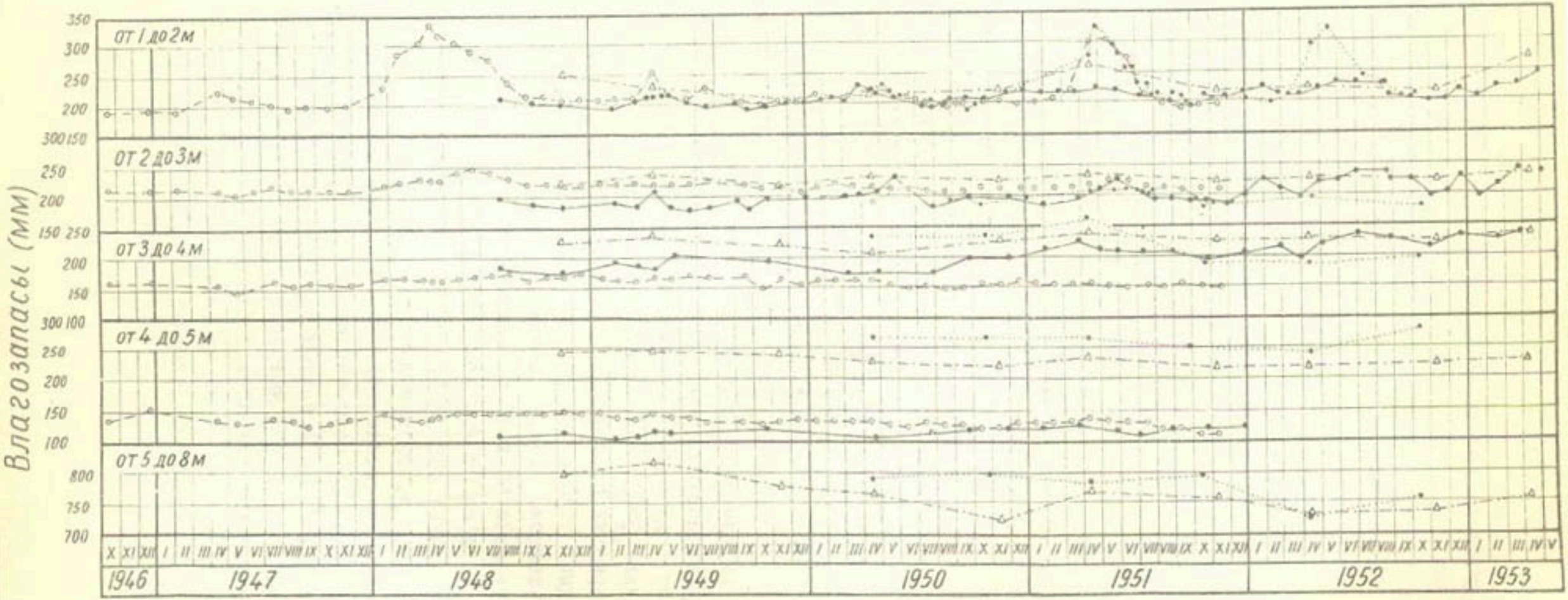


Рис. 2. Влагозапасы (мм) в различных слоях почво-грунта в лесу. Обозначения показаны на рас. I.

щение скважины отбора проб по сравнению с предшествующим сроком, участок, на котором отбираются пробы, достигает несколько сот квадратных метров. На участках с однородными грунтами, как видно из табл. I, средние квадратичные отклонения для метровых слоев на таких площадях достигают I0 мм. Таким образом, если колебания влагозапасов, полученные из наблюдений с однократной повторностью, в одном случае из 3-х превышают I0 мм, то они являются случайными. Максимальное случайное отклонение, равное 3б, равно 30 мм. На рис.2 амплитуда колебания влагозапасов на глубине от 4 до 5 м ни для одного района не превышает 30 мм. Если на участке наблюдений имеет место пространственная неоднородность грунта, с негоризонтальными границами раздела, погрешности определения влагозапасов и их изменений возрастают в несколько раз.

Таблица I

Среднеквадратичные отклонения изменений влагозапасов метровых слоев почво-грунта, мм

Пункт наблюдений	Участок	Повторность	Площадь участка наблюдений	Границы слоев, м				
				0-I	I-2	2-3	3-4	4-5
Жовтнево	залежь	I	I0см^2	I2	4	4	4	5
"	"	2	500 м^2	I6	8	I0	9	4
"	"	5	2500 м^2	22	I6	I2	8	8
"	"	I0	2500 м^2	24	I6	I2	7	9
Придеснянская	лог Опытный	I	20см^2	I2	I4	23	22	6
"	"	60	0,I2км^2	28	-	-	-	-
"	лог Лесной	I2	0,0I4км^2	46	27	38	37	25
В.Анадольская	лог Пасечный	22	3 км^2	32	-	-	-	-
"	лог Кашлагачик	I2	2 км^2	52	45	53	39	48

Все сказанное позволяет сделать вывод, что в лесостепных и степных районах на участках, сложенных лессом или лессовидными суглинками, колебания влажности почвы наблюдаются до глубины 3-4м, в связи с чем величина слоя воды, расходуемая с полуметровой или метровой толщи, не всегда характеризует испарение с почвы.

Таблица 2

Изменения влагозапасов (ΔW) на логу Опытном Придеснянской стоковой станции и на различных полях в районе Херсона

Период	Изменение влагозапасов в слое, мм			$\frac{(\Delta W_{1,5} - \Delta W_{1,0})100}{\Delta W_{1,5}}$	$\frac{(\Delta W_{1,5} - \Delta W_{0,5})100}{\Delta W_{1,5}}$
	1,5 м	1,0 м	0,5 м		
Придеснянская стоковая станция					
		Озимая пшеница			
7/У-12/УШ 1958 г.	-30	-23	-12	23	60
		Клевер			
13/IУ-14/IX 1959 г.	-275	-216	-126	21	33
		Л е н			
4/У-9/УШ 1960 г.	-118	-117	-90	I	24
Агрометстанция Херсон					
		Черный пар			
28/IУ-28/IX 1946 г.	-17	-20	-18	-18	-6
28/Ш-28/X 1947 г.	-63	-77	-52	-22	17
		Озимая пшеница			
18/Ш-28/УI 1946 г.	-147	-120	-73	18	50
28/Ш-28/УП 1947 г.	-106	-94	-65	11	39
		Яровой ячмень			
18/Ш-28/УП 1946 г.	-57	-44	-10	23	30
28/Ш-28/УП 1947 г.	-97	-91	-73	6	25
		Люцерна			
28/IУ-28/УП 1946 г.	-47	-31	-27	34	42
28/IУ-28/УП 1947 г.	-193	-158	-88	18	54
		Хлопчатник			
18/Ш-28/УП 1946 г.	-59	-47	-22	20	63
23/Ш-28/УШ 1947 г.	-92	-85	-67	8	27

Количественная оценка занижения величин испарения и изменения продуктивных влагозапасов дана в табл.2-4. В табл.2 показано, что в условиях засушливых лет I946 и I947 гг. изменения влагозапасов в районе ст.Херсон в полуметровом слое в большинстве случаев на 25-60%,а в метровом слое на 20-30% меньше, чем в I,5-метровом слое. Исключение составляет паровой участок, на котором в слое, расположенном на глубине от 0,5 до I,5 м, происходило накопление влагозапасов. Из этой же таблицы видно, что даже в районе Придеснянской стоковой станции, находящейся в зоне достаточного увлажнения, изменение запасов влаги в метровом слое за период вегетации с.-х. культур на 20-25% ниже относительно изменения влагозапасов в I,5-метровом слое почвы.И только в I960 г.,когда к началу вегетации продуктивные влагозапасы были лишь в 80-сантиметровом слое почвы, изменения влажности почвы в течение лета глубже I м не наблюдалось.

Результаты расчета испарения методом водного баланса с I,5-метрового слоя на логу Опытном и в районе Придеснянской стоковой станции, а также сопоставление величин испарения с различных слоев и измеренной величины испарения, полученной с помощью весовых испарителей, приводятся в табл.3. Методика определения отдельных элементов водного баланса изложена в работе [32]. В 1958 и I960 гг. разница между измеренным и рассчитанным испарением была незначительной. В период вегетации 1959 г. величина испарения,рассчитанная методом водного баланса, оказалась на I6% выше величины испарения, измеренной с помощью испарителей. В этот год глубина летнего иссушения почво-грунта превысила I,5 м. Расходы воды на испарение в условиях Придеснянской стоковой станции могут происходить и из более глубоких слоев.

Косвенно это подтверждается тем, что, например, в зимне-весенний период I960/6I г. на логу Опытном в слое от I,5 до 2,0 м произошло увеличение влагозапасов на I20 мм. Осенью влажность на этих глубинах была близка к влажности увядания, а после довольно теплой и влажной зимы в большинстве пунктов наблюдений она достигала значений наименьшей влагоемкости до глубины 2,2 м.Существенное увеличение влажности наблюдалось до 2,6 м.

Расходы воды на испарение с глубины более I м наблюдается также в районе Черного леса,Владимировской и Деркульской станций, для которых величины испарения нами были определены по методу водного баланса с учетом изменения влагозапасов в различных слоях почвы (табл.4). При этом изменения влагозапасов вычислялись по данным, которые были использованы при построении рис.I-2.

Характеристики испарения с различных слоев почвы на логу Опытном Придеснянской стоковой станции

Таблица 3

Период	Приход воды, мм	Интенсивность испарения (мм/сутки) с 1,5 м слоя	Испарение, мм				Разности величин испарения, в процентах		
			с 1,5м слоя	с 1,0м слоя	с 0,5м слоя	Измеренное	$\frac{(E_{1,5}-E_{1,0})100}{E_{1,5}}$	$\frac{(E_{1,5}-E_{0,5})100}{E_{1,5}}$	$\frac{(E_{1,5}-E_{и})100}{E_{1,5}}$
			$(E_{1,5})$	$(E_{1,0})$	$(E_{0,5})$	$(E_{и})$			
I/XI 1957 г. - I/Ш 1958 г.	60	0,1	17						
2/Ш-14/IУ	169	0,5	21						
15/IУ-6/У	27	0,9	19			26			-37
7/У-12/УШ	336	3,6	358	351	340	344	2	5	4
13/УШ-12/XI	150	1,2	128	137	143	142	-7	-11	-11
13/XI 1958 г. - 14/Ш 1959 г.	92	0,2	24						
15/Ш-25/Ш	58	0,7	7						
26/Ш-12/IУ	19	1,2	21			20			5
13/IУ-13/IX	175	2,9	450	391	211	379	13	33	16
14/IX-25/XI	143	0,5	40	39	61	39	2	-52	2
26/XI 1959 г. - 2/Ш 1960 г.	28	0,2	18						
3/Ш-31/Ш	123	-0,3	-10						
1/IУ-3/У	36	0,9	31			43			-39
4/У -8/УШ	45	1,8	163	162	135	148	1	17	9
9/УШ-1/XI	121	0,9	83	95	153	80	-13	-84	4

Примечание. Приход воды определялся по сумме жидких осадков за теплые периоды года и по водоотдаче из снега плюс жидкие осадки - в периоды оттепелей и снеготаяния.

$E_{0,5}, E_{1,0}, E_{1,5}$ - величины испарения с полуметрового, метрового и полутораметрового слоев почвы, вычисленные по методу водного баланса, $E_{и}$ - величины испарения, измеренные с помощью испарителей ГГИ-500 высотой 0,5 м (с 1/XI 1957 г. по 12/IУ 1959 г.) и 1,0 м (с 13/IУ 1959 г. по 1/XI 1960 г.).

Осадки, как правило, определялись непосредственно на участке наблюдений. Исключение составляет район Черного леса, для которого осадки приняты по ближайшей метеостанции (Знаменка) с последующим введением поправок на выдувание осадков из осадкомера и задержание их кронами деревьев. В районе Деркульской станции в период вегетации осадки как на полевых, так и лесных участках измерялись дождемерами, установленными на уровне с поверхностью земли. В районе Владимировской станции осадки измерялись на уровне I,5 м. Измеренные величины осадков на открытых участках нами увеличены на I0%. Эта поправка введена в связи с тем, что осадкомеры на высоте 2 м улавливают обычно на I0% меньше осадков в сравнении с дождемерами, установленными на поверхности почвы. Поправки на задержание осадков кронами деревьев определялись с помощью графика (рис.3). Величина стока по стволам деревьев, как показали наблюдения [6,19,30], является пренебрежимо малой.

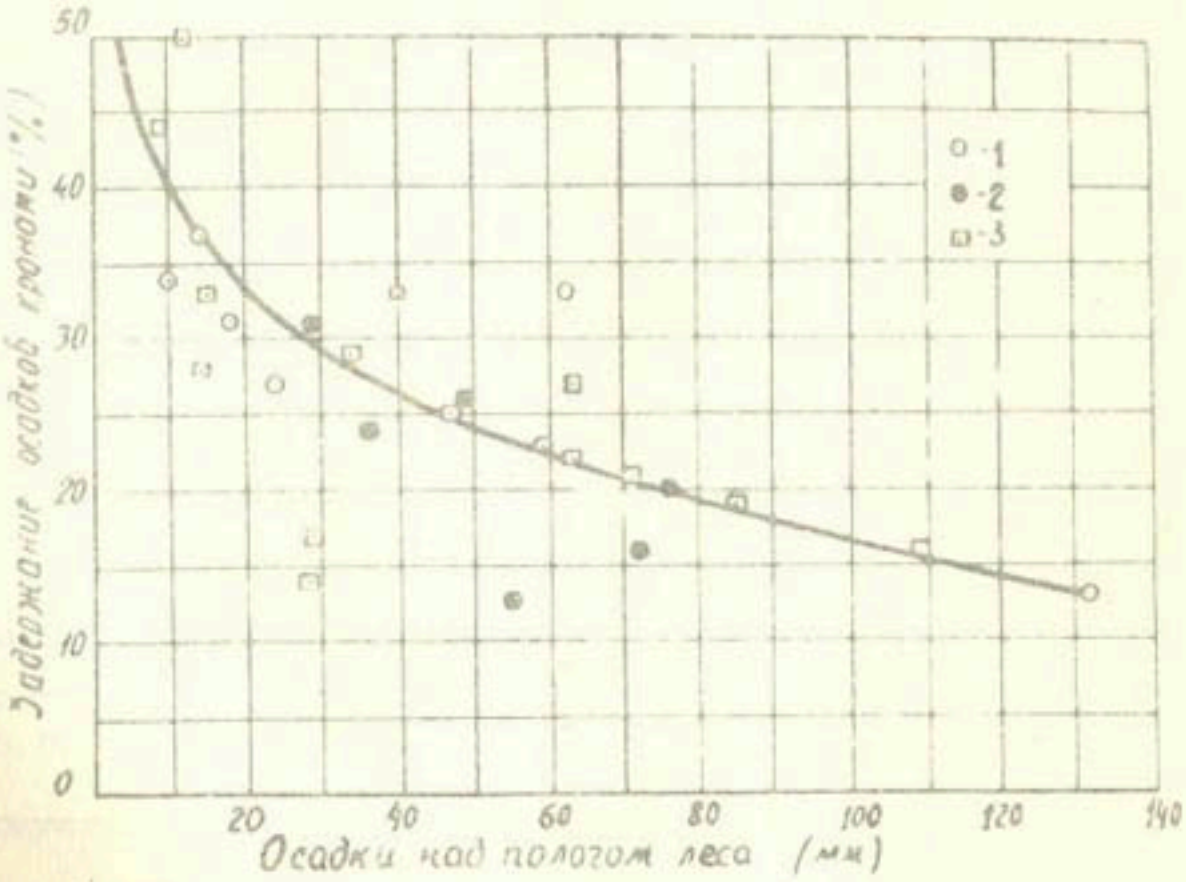


Рис.3. Зависимость задержания осадков кронами деревьев от месячных сумм осадков над пологом леса в период вегетации.

I - Придесняиская станция V - X I960 г.

2 - В.Анадольская станция V - X I960 г.

3 - Деркульская станция VI - IX I950 г., УП-X I95I г., У-X I952 г.

Характеристики испарения с различных слоев почвы на приводораздельных участках в поле (п) и в лесу (л)

Период	Участок	Осадки, мм	Интенсивность испарения с трехметрового слоя, мм/сутки $\mathcal{J}_1$	$\mathcal{J}_2$	Испарение, мм	Разности величин испарения в миллиметрах (E_3-E_2)	(E_3-E_1)	$(E_3-E_{0.5})$	в процентах $\frac{(E_3-E_2)100}{E_3}$	$\frac{(E_3-E_1)100}{E_3}$	$\frac{(E_3-E_{0.5})100}{E_3}$
					Черный лес						
21/IУ-18/УП 1947 г.	л	78	2,3	2,0	182	-7	14	46	-4	8	25
19/УП-18/IX	л	92	2,5	1,9	117	0	3	17	0	3	15
9/IУ-17/IX 1948 г.	п	323	-	3,1	509	15	51	101	3	10	20
"	л	286	4,3	3,9	632	12	133	223	2	21	35
18/IX-16/X	п	31	-	1,7	47	-2	8	17	-4	17	36
"	л	25	1,3	0,9	27	-5	-3	1	-19	-11	4
18/IУ-16/IX 1949 г.	п	441	-	3,5	524	12	21	35	2	4	7
"	л	372	2,7	2,3	355	8	14	10	2	4	3
17/IX-16/XI	п	21	-	0,6	38	4	18	14	11	47	37
"	л	12	0,6	0,4	26	2	8	19	8	31	73
17/IУ-16/УП 1950 г.	п	152	-	4,1	373	20	83	153	5	22	41
"	л	112	3,7	3,0	297	10	36	98	3	9	33
17/УП-18/X	п	132	-	1,1	102	4	0	-8	4	0	-8
"	л	87	1,2	0,8	77	-5	-8	-9	-6	-10	-12
15/IУ-16/УП 1951 г.	п	70	-	1,6	148	-9	-5	22	-6	-3	15
"	л	48	3,9	3,7	338	26	115	193	8	34	57
17/УП-17/X	п	144	-	1,7	182	19	25	40	10	14	22
"	л	107	1,8	1,4	132	3	27	32	2	20	24

Владимировская агролесомелиоративная станция											
2I/Ш-20/УП I949 г.	п	I58	-	2,8	336	3	35	73	I	II	2I
"	л	I25	2,3	2,0	243	-I	I4	33	0	6	I4
2I/УП-26/X	п	53	-	0,5	5I	-II	-I4	-6	-22	-27	-I3
"	л	37	0,4	0,5	5I	I2	I3	8	23	25	I5
28/Ш-27/УП I950 г.	п	I2I	-	2,7	325	43	70	I03	I3	2I	32
"	л	94	2,5	2,3	273	2I	6I	88	7	22	32
28/УП-26/IX	п	45	-	0,6	35	I6	9	I	45	26	3
"	л	27	-0,I	-0,4	-22	-I9	-35	-40	86	I60	I80
23/Ш-3I/УП I95I г.	п	I49	-	3,I	409	I0	54	I37	3	I3	33
"	л	II7	2,I	I,9	245	4	I4	32	I	5	I3
I/УШ-22/X	п	65	-	0,9	76	-2	7	7	-3	9	9
"	л	5I	0,8	0,6	55	2	2	-I	4	4	-2
4/IУ-I9/УШ I952 г.	п	3I7	-	3,8	526	2	-7	78	0	-I	I4
"	л	232	3,4	2,8	369	-32	-25	30	-9	-8	8
20/УШ-27/IX	п	43	-	2,6	I05	23	58	64	22	55	6I
"	л	37	0,9	0,8	32	4	9	7	I2	28	22
Деркульская станция по полезащитному лесоразведению											
2I/IУ-7/УП I950 г.	п	58	-	(I,9)	I52	-	-	-	-	-	-
"	л	34	3,3	2,9	228	-I2	I9	98	-5	9	43
8/УП-2/X	п	I05	-	I,7	I87	6	39	43	4	26	29
"	л	72	I,2	0,8	75	I6	I2	9	2I	I6	I2
I7/IУ-7/УП I95I г.	п	76	-	2,I	I70	27	54	70	I6	32	4I
"	л	57	3,2	2,9	236	0	47	8	0	20	3
2I/IУ-I5/УШ I952 г.	л	I80	3,2	2,8	328	6	72	II9	I	22	36
I6/УШ-I6/X	л	32	I,5	I,2	63	I0	30	34	I6	48	54

Условные обозначения: $\mathcal{Y}_1$ - интенсивность испарения, рассчитанная по изменению влагозапасов с учетом осадков под пологом леса плюс осадки, задержанные кронами деревьев; $\mathcal{Y}_2$ - то же, с учетом осадков только под пологом леса для лесных участков и измеренных обычным способом для полевых участков, $E_{0,5}$; E_1; E_2 и E_3 - величины испарения с полуметрового, метрового, двухметрового и трехметрового слоев почвы.

Характеристика поверхностного стока, когда он не определялся, устанавливалась по визуальным наблюдениям. Сток на полевых участках за дождевые паводки определялся для Черного леса по створу на р. Ингулец у с. Александро-Степановка, для Владимировской станции - по створу на р. Висунь у с. Березнеговатое. Существенные величины стока, порядка 10-20 мм, наблюдались только летом 1948 и 1949 гг. в районе Черного леса. В районе Деркульской станции сток наблюдался летом 1951 г.; оценить величину его не представилось возможным, поэтому испарение за летний период этого года не подсчитано.

Величина просачивания воды в глубокие слои почво-грунта, на основании сказанного выше, принята равной нулю. Выполненные указанным путем расчеты испарения за время от конца весеннего снеготаяния до начала замерзания почвы вместе с данными табл.3 позволяют дать следующую характеристику режима испарения равнинной части Украины, сложенной лессами и лессовидными суглинками. В годовом ходе испарения можно выделить периоды: 1) весенне-летний, характеризующийся наиболее интенсивным испарением (2-4 мм/сутки) за счет расхода почвенной влаги, накопленной в предшествующий период, и выпадающих осадков, 2) летне-осенний, отличающийся мало изменяющимися запасами почвенной влаги, близкими к влажности завядания, и испарением (чаще всего от 0,5 до 2 мм/сутки), лимитирующимся количеством выпадающих осадков в этот период, и 3) осенне-зимне-весенний, характеризующийся накоплением влагозапасов и незначительной интенсивностью испарения (0,1-0,2 мм/сутки).

Осадки, выпадающие в осенний период, идут почти полностью на пополнение влагозапасов почво-грунтов. Вода, поступающая на поверхность почвы в зимне-весенний период, расходуется на просачивание и поверхностный сток.

Как видно из табл.3 и 4, с увеличением толщины слоя почво-грунта испарение, как правило, увеличивается. Так, например, для весенне-летнего периода относительная разница между величинами испарения с 3-метрового слоя и слоев меньшей толщины в большинстве случаев положительна и составляет для двухметрового слоя не более 10%, метрового - 10-20% и полуметрового - 20-40% (табл.4).

Для летне-осеннего периода испарение с трехметрового слоя почти всегда больше, чем с 2, 1 и 0,5-метровых слоев. В отдельные годы с трехметрового слоя испаряется на 20-50% больше, чем с метрового и на 30-70% больше, чем с полуметрового. При этом любопытно, что для полевых и лесных участков относительные разницы между испарением с различных слоев оказываются одного порядка.

Таким образом, можно утверждать, что почвенные испарители высотой 0,5 и I,0 м в условиях Украины нередко дают заниженные показания величины испарения.

Занижение испарения, измеренного испарителями небольшой высоты, в засушливые периоды наблюдается даже на Валдае, находящемся в зоне избыточного увлажнения. Так, например, за третью декаду августа и три декады сентября I95I г., когда выпало лишь I3 м осадков, испарение с многолетней залежи по наблюдениям по большому гидравлическому испарителю (БГИ), имеющему высоту 2 м, составило 58 мм, а по испарителю высотой 0,6 м - 39 мм, т.е. оказалось на 33% меньше. В I959 г. за первую и вторую декады августа, при осадках, равных I мм, испарение с кукурузы по БГИ составило 78 мм, а по испарителю высотой 0,6 м - 43 мм, что дало относительную разницу в 45%.

За периоды, когда декадная сумма осадков превышает 40-50 мм, испаритель высотой 0,6 м дает завышенные величины испарения, причем разница при сравнении с испарением, измеренным по БГИ, в этом случае доходит до I00%. В I953 г. за период со второй декады июля до второй декады августа, при сумме осадков, равной 248 мм, завышение испарения по испарителю высотой 0,6 м в сравнении с БГИ составило 72%.

В заключение остановимся на предложениях, вытекающих из результатов доложенного исследования.

I. Испарители высотой 0,5 м следует считать пригодными лишь для измерения испарения с почвы, лишенной растительного покрова, или на культурах, у которых корневая система не заходит глубже 0,5 м.

2. Для степной и лесостепной зон при изучении испарения с с.-х. культур следует рекомендовать пользоваться испарителями высотой не менее I м и методом водного баланса, проводя на водно-балансовых участках учет осадков, стока и изменения влагозапасов в 3-4-метровом слое 3-4 раза в год.

Большая часть территории степи и лесостепи характеризуется непромывным водным режимом почвы, при котором не наблюдается просачивание воды глубже 3-5 м.

На участках с промывным водным режимом почвы, на которых влажность почвы глубже 3-4 м обычно равна наименьшей влагоемкости, происходят кратковременные повышения влажности на этих глубинах, что, однако, можно не учитывать, так как избыток влаги сверх наименьшей влагоемкости идет на подпитывание грунтовых вод.

Оценку слоя воды, просачивающейся за пределы 3-4-метрового слоя почво-грунта и, следовательно, идущей на подпитывание грунтовых вод,

можно делать путем наблюдений над интенсивностью просачивания воды в почву приемами, описанными в работе [32].

3. Водобалансовые наблюдения в системе Гидрометслужбы целесообразно организовать на стоковых и агрометеорологических станциях.

4. Считать целесообразным построить в южных районах Украины наиболее совершенный прибор по исследованию испарения с почвы - большой гидравлический испаритель с высотой монолита 3 м.

ЛИТЕРАТУРА

I. Акопов В.-Динамика почвенной влажности в связи с лесохозяйственными мероприятиями. Почвоведение, № 4, I935.

2. Амелин И. и Пилипенко Н.-Влажность почвы. Сводный отчет Ставрополь-Кавказской с.-х. опытной станции за время с I90I по I928 г., вып.Ш, I93I.

3. Афанасьева Е., Карандина С.и др.-Сопряженное изучение корневых систем и водного режима почв в дубово-кленовом насаждении на обыкновенных черноземах.Труды Ин-та леса АН СССР,т.XXIX, М., I955.

4. Большаков А.Ф.-Водный режим мощных черноземов Средне-русской возвышенности. Изд. АН СССР, М., I96I.

5. Варлыгин П.Д., Зонн С.В. и Мина В.Н.-Водный режим почв под лесами и полезащитными насаждениями в степи.Труды Ин-та леса АН СССР, т.XП, I953.

6. Васильев И.С.-Наблюдения над задержанием осадков кронами деревьев. Вопросы географии, № 7, I948.

7. Высоцкий Г.Н.-Влажность почвы и грунта в Велико-Анадоле.Почвоведение, № 3, I899.

8. Высоцкий Г.Н.-О взаимных отношениях между лесной растительностью и влагою, преимущественно в южно-русских степях.Труды опытных леснич.,т.П, СПб, I904.

9. Высоцкий Г.Н. и Фальковский П.К.-Режим почвенной влажности, грунтовых вод и солей в степных и лесостепных почво-грунтах. I Всесоюзн. гидрогеологический съезд, сб. УI, секция спец. гидрогеологии, I933.

I0. Высоцкий Г.Н.-Учение о лесной пертиненции. Л., I930.

II. Готшалк Э.Ф.-К вопросу о влиянии леса на влажность почвогрунта и грунтовые воды. Почвоведение, № I0,I938.

I2. Грамматикати О.Г.-Использование растениями воды из глубоких слоев почвы при влагозарядочном и лиманном орошении. Тезисы докладов Первого делегатского съезда почвоведов,секция физики почв. М., I958.

13. Зонн С.В.-Материалы по изучению водного режима черноземов под лесными насаждениями.Труды Ин-та леса АН СССР,т.УП, 1954.

14. Зонн С.В.-Водный режим чернозема под лесной полосой и лесным массивом в сухой степи.Труды Ин-та леса АН СССР, т.ХХП, 1954.

15. Измаильский А.А.-Влажность почвы и грунтовая вода в связи с рельефом местности и культурным состоянием поверхности почвы. Полтава, 1896.

16. Колпаков В.В.-Аккумуляция и использование влаги верхних и глубинных слоев почвы в засушливых районах Европейской части СССР. Изв. Тимирязевск. с.-х. акад.,№2, 1958.

17. Конуров С.Г.-Динамика влажности почвы под многолетними травами и под яровой пшеницей по различным предшественникам на светлокаштановых почвах Сталинградской области. Тезисы докладов Первого делегатского съезда почвоведов, секция физики почв, М., 1958.

18. Лабунский И.М.-Основные итоги работ Мариупольской агролесомелиоративной опытной станции за 60 лет ее деятельности (1893-1953).Труды Ин-та леса АН СССР,т.ХХХ, 1956.

19. Лучшев А.А.-Осадки под пологом леса.Труды ВНИЛХ,вып.18,1940.

20. Отоцкий П.В.-Грунтовые воды, их происхождение, жизнь и распределение.Труды опытных леснич.,вып. IУ, 1906.

21. Павленко И.А.-Лесостепные почвы нагорных дубрав правобережья реки Ворсклы и их происхождение. Труды Почвенного ин-та АН СССР, т.XLУI, М., 1955.

22. Погребняк П.С.,Скородумов А.С., Енавиковский В.И., Зарудный Я.К:Водный режим почв Черного леса. Труды Ин-та леса АН УССР, т.7,Киев,1958(на укр.языке).

23. Ротмистров В.Г.-Корневая система растений и урожай.Советская агрономия, № 8, 1939.

24. Рац И.И.-Влажность почвы и расход влаги на десукцию корневыми системами древостоя в грабовом насаждении. Проблемы Советского почвоведения, № 6, 1938.

25. Роде А.А.-Почвенная влага. Изд.АН СССР, М., 1952.

26. Скородумов А.С.-Водный режим почв под пологом лесных насаждений. Труды УкрНИГМИ , вып. 3, Л., 1955.

27. Скородумов А.С.-Водный режим суглинистых почв лесных насаждений степи и лесостепи. Почвоведение,№ 3, 1958.

28. Скородумов А.С. и Смалько Я.А.-Влияние защитных лесных насаждений на элементы водного баланса почв и климат при-

земного слоя атмосферы.Труды по агролесомелиорации УкрНИИЛХа, Киев-Харьков, 1950.

29. Фальковский П.К. Круговорот влаги в почве под влиянием леса. Почвоведение, № 4, 1935.
30. Харитонов Г.А. Осадки в лесу, в поле и поступление их в почву. Почвоведение, № 2, 1949.
31. Шпак И.С. Режим почвенных и грунтовых вод бассейна реки Головесни. Труды УкрНИГМИ, вып.30, 1961.
32. Шпак И.С. Водный баланс малого полевого водосбора. Труды УкрНИГМИ, вып.30, 1961.

К.И. Смирнов, канд.техн.наук
(ГГИ,Ленинград)

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИСПАРЕНИЯ С ПОЧВЫ В КУСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ

Настоящее сообщение составлено по материалам исследований Кустанайской экспедиции ГГИ, работающей по договору с Министерством геологии и охраны недр Казахской ССР с 1959 г. В данном сообщении используются материалы наблюдений за 1960 г.

Работы экспедиции связаны с необходимостью надежного решения проблемы водоснабжения быстро развивающихся новых промышленных районов, городов, совхозов и колхозов Кустанайской области, расположенной в зоне недостаточного увлажнения и испытывающей поэтому большие затруднения в водоснабжении.

Практическое решение этой проблемы идет по пути наиболее полного и комплексного использования всех местных ресурсов поверхностных и подземных вод. Отсюда появилась необходимость более подробного изучения как поверхностных, так и подземных вод, а также степени пополнения последних за счет поверхностных вод.

В основу решения задачи о питании подземных вод за счет поверхностных положено изучение водного баланса водосборов рек, логов и озер с детальным измерением всех основных его элементов. Непосредственно в поле измерения элементов водного баланса производятся на специально выбранных, небольших по площади, экспериментальных водосборах логов и озер, на стоковых и воднобалансовых станциях, расположенных в различных районах области. Экспериментальные участки выбраны с учетом типичности их для окружающей местности по почво-грунтам, рельефу, растительности и другим характеристикам. На основании выводов, которые будут получены для экспериментальных водосборов, предполагается решать вопросы о питании подземных вод и на других водосборах области.

Одним из важнейших элементов водного баланса в Кустанайской области является испарение с почвы, на которое расходуется огромная доля атмосферных осадков. Поэтому изучению испарения уделяется большое внимание в проводимых исследованиях.

Наблюдения над испарением в 1960 г. велись на 1 стоковой и 5 воднобалансовых станциях.

На каждой из станций были оборудованы одна или несколько испарительных площадок, в зависимости от разнообразия основных характеристик испаряющих поверхностей, имеющихся в районе каждой

станции. С учетом этого площадки расположены на целине, пашне, на полях, занятых под пшеницей, в хвойных и лиственных лесах и на бессточных понижениях местности, характеризующихся более увлажненными почво-грунтами в сравнении с другими участками. В 1960 г. на целине имелось 7 испарительных площадок, на пашне - 2, на полях, занятых пшеницей, - 4, на склонах понижений - 2, на дне понижений - 3, в сосновом лесу для наблюдения испарения с лесных подстилок - 2, в березовом лесу - I. В целом по области наблюдения велись на 2I испарительной площадке.

По почвам испарительные площадки подразделяются: на площадки с черноземными почвами - I2, с темно-каштановыми - 3, с подзолистыми - I, с супесчаными - 3 и с суглинистыми почвами - 2.

По подстилающим почвы грунтам площадок с суглинистыми и глинистыми грунтами имеется I8 и с супесчаными и песчаными - 3.

Наблюдения над испарением велись с помощью испарителей ГГИ-500 с двукратной повторностью. Взвешивание испарителей с монолитами осуществлялось на весах ШМ - 44.

Смена монолитов производилась 2 раза в месяц; монолиты с пшеницей сменялись ежедекадно.

Взвешивание испарителей с монолитами на всех площадках производилось через каждые 5 дней.

В 1960 г. систематические наблюдения над испарением с почвы велись только в теплый период года.

Полученные материалы позволяют выяснить целый ряд важных вопросов, относящихся к испарению с почвы на территории Кустанайской области, которые ранее, из-за отсутствия наблюдений, не освещались. К их числу относятся: оценка испарения с различных угодий и с экспериментальных водосборов, установление соотношения величин испарения с поверхности суши и воды, определение доли атмосферных осадков, расходуемых на испарение, и проверка применимости некоторых расчетных методов.

Испарение с целины

В табл. I представлены результаты наблюдений над испарением с целины. В целях сопоставления, величины испарения на ст. Бурли условно приняты за 100%, а испарение на других станциях выражено в процентах от испарения на этой станции.

Таблица 1

Испарение с целины по наблюдениям в 1960 г.

Станция	Единица измерения испарения	У	УI	УII	УIII	IX	X	Сумма У-X
Бурли	мм	52	87	86	75	21	8	329
"	%	100	100	100	100	100	100	100
Боровское	мм	59	65	66	66	27	12	295
"	%	113	75	75	88	129	150	90
Семиозерное	мм	69	67	53	71	32	7	299
"	%	133	77	62	94	152	88	91
Большевик	мм	60	57	66	63	41	11	298
"	%	115	66	77	84	195	138	91
Шошка-Куль	мм	-	98	51	73	75	21	318*
"	%	-	113	59	97	357	263	115*
Алюминстрой	мм	-	41	50	48	10	2	151*
"	%	-	47	58	64	48	25	54*

Примечание. Величины, помеченные звездочкой (*), относятся к периоду УI-X.

Из табл. I видно, что на испарительных площадках станций Боровское, Семиозерное и Большевик суммы испарения с целины за период наблюдений (У-X) почти равны между собой и на 10% (30-35 мм) меньше испарения с целины на ст. Бурли.

В период наиболее интенсивного испарения (УI-УШ) средние месячные величины испарения на указанных площадках составляют 76 - -82% от испарения на ст. Бурли, а в отдельные месяцы этого периода - 53-94%.

В мае и сентябре соотношения в величинах испарения на указанных станциях было совершенно иным. Почти во все эти месяцы испарение на станциях Боровское, Семиозерное и Большевик на 10-52% (6-20 мм) превышало испарение с целины на ст. Бурли.

Такая разница в испарении объясняется в основном различием в числе дней с осадками, количестве осадков и температуре воздуха. Иногда превалирующими оказываются два первых фактора. Особенно это заметно при обложных осадках, когда вследствие высокой влажности воздуха испарение с почвы становится незначительным. Так, напри-

мер, за период с июня по август на трех указанных выше станциях осадков выпадало больше (2I7-329 мм), чем на станции Бурли (I88 мм); средние месячные температуры воздуха также были выше (соответственно I6,9-I7,5° и I6,7°). Несмотря на это испарение с целины на упомянутых трех станциях оказалось существенно меньше (на 50-60 мм), чем на ст. Бурли, что, по-видимому, объясняется бо́льшим (на 3-6 суток) количеством дней с осадками.

В мае и сентябре превышение величин испарения с целины на станциях Боровское, Семиозерное и Большевик над испарением на ст. Бурли связано в основном с более высокими средними месячными температурами воздуха на этих станциях по сравнению с температурой воздуха на ст. Бурли, где она была ниже на 0,5-I,5°.

На ст.Шонка-Куль испарение с целины за период с июня по октябрь было на I5% (4I мм) больше, чем на ст. Бурли, несмотря на то, что осадков выпало на I0% (25 мм) меньше. Это объясняется более высокой средней температурой воздуха (на I,2°) и бо́льшим (на 27 мм) количеством осадков на ст. Шонка-Куль за сентябрь и первые две декады октября.

Особенно малое испарение с целины за летне-осенний сезон и в отдельные месяцы наблюдалось на ст. Алюминстрой. Сезонное испарение составляло всего лишь 54% от испарения на ст. Бурли. Очевидно, это вызвано большим дефицитом влажности почво-грунтов в течение почти всего периода, что в свою очередь обусловлено относительно малым количеством осадков (II8 мм за период УI-X).

Испарение с целины в местных понижениях значительно превышало испарение с обычных степных участков. Так, например, испарение с донной части понижений на станциях Бурли и Семиозерное в отдельные месяцы периода наблюдений (УП-IX) оказалось на 34--I62% больше, чем с целины степных участков, а испарение с целины склонов указанных понижений в сентябре и октябре было на 28-62% больше, чем со степной целины. Это связано с постоянной повышенной увлажненностью почвы на понижениях.

По данным наблюдений удалось построить связь между декадными и месячными суммами испарения с целины на станциях Боровское, Семиозерное и Большевик с соотвествующими величинами испарения на ст.Бурли.О тесноте этой связи можно судить по коэффициенту корреляции, который оказался равным $r = 0,94$ при $E_r = 0,008$.

Аналогичная связь была построена по данным наблюдений над испарением с целины на дне понижения № 2 в районе ст. Бурли и на склоне понижения в районе ст. Семиозерное.

Испарение с полей, занятых пшеницей

В табл. 2 приведены величины суммарного испарения с полей, занятых пшеницей. Для сопоставления, так же как и при рассмотрении испарения с целины, величины испарения с полей, занятых пшеницей, в районе ст. Бурли условно приняты за 100%, а суммы испарения на других станциях выражены в процентах от испарения на ст. Бурли.

Таблица 2

Суммарное испарение с пшеницы в 1960 г.

Станция	Единица измерения испарения	УI	УП	УШ	Сумма УI-УШ
Бурли	мм	98	89	80	267
"	%	100	100	100	100
Боровское	мм	105	66	55	226
"	%	107	88	69	88
Семиозерное	мм	65	89	54	208
"	%	67	111	68	81

Из данных табл.2 видно, что суммарное испарение с полей, занятых пшеницей, за период наблюдений, так же как и испарение с целины, больше всего на ст. Бурли. Затем в убывающем порядке следуют станции Боровское и Семиозерное. В месячных наблюдениях, за некоторыми исключениями, наблюдается такая же картина.

Коэффициент корреляции связи суммарного испарения с полей, занятых пшеницей, на станциях Боровское и Семиозерное с соответствующими величинами испарения на ст. Бурли оказался равным $r = 0{,}88$ при $E_r = 0{,}013$.

Испарение с пашни

Наблюдения над испарением с пашни производились на двух станциях–Бурли и Большевик. Несмотря на значительное расстояние между последними, месячные и сезонные величины испарения на них мало отличаются (табл. 3), что, по-видимому, объясняется

наличием на обеих станциях одинаковых почво-грунтов, а также почти одинаковыми осадками за период наблюдений (соответственно 256 и 254 мм).

Таблица 3

Испарение с пашни в 1960 г.

Станция	Единица измерения	У	УI	УII	УШ	IX	X	Сумма У-X
Бурли	мм	41	32	60	37	14	9	193
"	%	100	100	100	100	100	100	100
Большевик	мм	44	30	51	31	16	6	178
"	%	107	94	85	84	114	67	92

Связь между декадными и месячными суммами испарения с пашни на указанных станциях характеризуется коэффициентом корреляции $r = 0,92$ при $E_r = 0,011$.

Полученные зависимости между величинами испарения с отдельных сельскохозяйственных полей на различных станциях имеют важное значение для проверки качества материалов и восстановления рядов наблюдений над испарением, а также для оценки величин испарения с соответствующих сельскохозяйственных угодий при отсутствии данных наблюдений.

Испарение с экспериментальных водосборов

Большая часть водосборов в Кустанайской области не представляет собой одинаковых испаряющих поверхностей. Отдельные участки их заняты целиной, пашней, различными сельскохозяйственными культурами, лесными участками (колками) и местными понижениями. В связи с этим определение испарения со всего водосбора возможно либо по данным наблюдений на каждом из указанных видов угодий, либо, при отсутствии достаточных данных наблюдений, путем использования связей между величинами испарения с различных угодий в пределах рассматриваемого водосбора. Такие связи удалось построить по каждому из экспериментальных водосборов. В качестве примера определение испарения с малых водосборов с применением упомянутых связей приводится в табл. 4 по данным наблюдений на ст. Бурли.

Таблица 4

Испарение с различных угодий по наблюдениям на ст. Бурли в 1960 г.

Испаряющая поверхность	Единица измерения испарения	У	УI	УII	УШ	IX	X	Сумма У-X
Целина	мм	52	87	86	75	2I	8	329
"	%	I00	I00	I00	I00	I00	I00	I00
Пшеница	мм	53	98	(89)	(80)	I6	9	345
"	%	I02	II3	I04	I07	76	II3	I05
Пашня	мм	4I	32	60	37	I4	9	I93
"	%	79	37	70	49	67	II3	59
Понижение № I (дно)	мм	-	-	I42	I37	55	I0	344*
"	%	-	-	I65	I83	262	I25	I8I*
Понижение № 2 (дно)	мм	-	-	-	-	62	I0	72**
"	%	-	-	-	-	295	I25	248**
Понижение № 2 (склон)	мм	-	-	-	-	34	II	45**
"	%	-	-	-	-	I62	I38	I55**

Примечание. Величины, помеченные звездочкой (*), относятся к периоду УП-X, двумя звездочками (**) - к периоду IX-X.

Из табл. 4 видно, что на ст. Бурли в вегетационный период месячные величины суммарного испарения с полей, занятых пшеницей, были на 4-I3% больше суммарного испарения с целины , а за весь период наблюдений - на 5%.

Испарение с пашни гораздо меньше испарения с целины; в отдельные месяцы оно составляет 37-79%, а за весь период наблюдений-около 60% от целины. Испарение с донной части бессточного понижения № I в период УП-IX превышало испарение с целины в I,5 - 3,0 раза, а в октябре - на 25%. Испарение на склоне понижения в осенние месяцы (IX-X) было больше испарения с целины приблизительно в I,5 раза.

Между месячными и декадными величинами испарения с целины

и соответствующими суммами испарения с пшеницы, пашни и целины на понижениях существуют довольно тесные связи (коэффициенты корреляции составляют от 0,88 до 0,98 при вероятных ошибках их определения от 0,005 до 0,032).

Аналогичные данные наблюдений над испарением с различных угодий и связи между ними получены и на других воднобалансовых станциях. Месячные величины испарения с лесных подстилок соснового и березового леса на станциях Боровское и Семиозерное составляют от 22 до 74% от величин испарения с целины на соответствующих станциях, а в сумме за период наблюдений - от 26 до 57%.

По данным наблюдений над испарением с отдельных видов угодий, а при отсутствии таковых - по полученным связям, представляется возможным рассчитать испарение с водосборов в целом. Такой расчет выполнен для ряда экспериментальных водосборов воднобалансовых станций (табл. 5) с учетом распределения угодий на этих водосборах и веса последних.

Таблица 5

Испарение с водосборов (мм) в 1960 г.

Водосбор	У	УI	УII	УШ	IX	X	Сумма У-X
Оз. М. Бурли	53	94	88	78	I8	9	340
Лог Соленый	53	96	88	79	I7	9	342
Оз. Боровое	55	69	63	61	27	II	286
Лог Боровской	52	97	66	57	29	I4	3I5
Лог Байбульсай	57	52	63	57	36	I0	275
Лог Степной	(64)	(60)	(63)	79	36	9	(3II)
Оз. Шошка-Куль	-	98	5I	73	75	2I	3I8*
Вдхр. Алюминстрой	-	4I	(50)	48	I0	2	I5I*

Примечание. Величины, помеченные звездочкой (*), относятся к периоду УI-X.

Из табл. 5 видно, что на водосборах, расположенных рядом (оз. М. Бурли и лог Соленый) и имеющих одинаковые испаряющие поверхности, величины испарения получились почти равными. На двух других соседних водосборах (оз. Боровое и лог Боровской) величины испарения оказались равными из-за большой площади, занятой пшеницей, на водосборе лога.

Сравнительно небольшая величина испарения на водосборе во-

дохранилища у пос. Алюминстрой обусловлена недостаточным увлажнением почво-грунтов в течение почти всего теплого периода года.

Представляет интерес сравнить величины испарения с экспериментальных водосборов озер и водохранилищ с величинами испарения с водной поверхности этих водоемов, а также с осадками.

Таблица 6

Испарение с экспериментальных водосборов и поверхности воды

Водоем	Период наблюдений	Испарение, мм		$\frac{Z_c}{Z_в}$ 100%	Осадки, мм
		с водосбора (Z_c)	с поверхности воды ($Z_в$)		
Оз. М. Бурли	У-Х	340	569	60	318
Оз. Боровое	У-Х	286	673	42	360
Оз. Шошка-Куль	УI-Х	318	567	56	184
Вдхр. Алюминстрой	УI-Х	151	617	24	118

Из данных табл. 6 видно, что в районах, где в теплое время года осадков выпало много (ст. Бурли и Боровское), величина испарения была довольно высокой, составляя в среднем около 53% от испарения с поверхности воды. На юго-востоке области (ст. Алюминстрой), где осадков наблюдалось сравнительно мало, а температура воздуха была выше, чем в северных и центральных районах, испарение с водосбора составило всего лишь 24% от испарения с поверхности воды.

Сопоставление испарения с экспериментальных водосборов с осадками (табл. 7) показывает, что последние в условиях Кустанайской области являются одним из основных факторов испарения.

На водосборах оз. М. Бурли, логов Байбульсай, Степного, Киндексай и вдхр. у пос. Алюминстрой испарение за период май-октябрь превысило осадки за тот же период. Это объясняется дополнительным испарением влаги, накопившейся в почве в периоды весеннего снеготаяния и летних дождей. Так, например, после весеннего снеготаяния (У-УI) испарение с большинства водосборов было больше осадков на велмчину до 50 мм, а в августе-сентябре, после июльских дождей - до 60 мм.

Следует отметить, что при выпадении большого количества осадков (УП), а также при низких температурах воздуха (Х), испарение, как правило, составило менее 80% от осадков.

Таблица 7

Испарение (Z) и осадки (X) на экспериментальных водосборах, в мм

Водосбор	Апрель			Май			Июнь			Июль			Август		
	Z	X	$\frac{Z}{X}\cdot 100\%$	Z	X	$\frac{Z}{X}\cdot 100\%$	Z	X	$\frac{Z}{X}\cdot 100\%$	Z	X	$\frac{Z}{X}\cdot 100\%$	Z	X	$\frac{Z}{X}\cdot 100\%$
Оз. М. Бурли	48*	31	155	53	62	85	94	42	224	88	125	70	78	45	173
Лог Соленый	48*	32	150	53	67	79	96	51	188	88	142	62	79	45	175
Оз. Боровое	50*	12	417	55	45	122	69	74	93	63	122	51	61	79	77
Лог Боровской	50*	15	333	52	35	149	97	64	151	66	131	50	57	83	69
Лог Байбульсай	53*	51	104	57	40	142	52	39	133	63	84	75	57	78	73
Лог Степной	-	-	-	64	61	105	60	49	122	63	68	93	79	39	202
Лог Киндексай	58*	10	580	53*	61	87	98	49	200	51	68	75	73	39	187
Вдхр. Алюминстрой	-	-	-	63*	26	242	41	11	373	50	70	72	48	13	369

Водосбор	Сентябрь			Октябрь			Май-октябрь			Ноябрь 1959 г. - октябрь 1960 г.				
	Z	X	$\frac{Z}{X}\cdot 100\%$	Z	X	$\frac{Z}{X}\cdot 100\%$	Z	X	$\frac{Z}{X}\cdot 100\%$	Z_{XI-IX}	X_{XI-III}	X_{XI-IX}	X_{XI-IX}	$\frac{Z_{XI-IX}-X_{XI-IX}}{X_{XI-IX}}\cdot 100\%$
Оз. М. Бурли	18	1.0	1800	9	43	21	340	318	107	388	54	349	403	96
Лог Соленый	17	1.0	1700	9	50	18	342	356	96	390	57	388	445	88
Оз. Боровое	27	10	270	11	30	37	286	360	79	336	70	372	442	76
Лог Боровской	29	11	264	14	24	58	315	348	91	365	75	363	438	83
Лог Байбульсай	36	5	720	10	25	40	275	271	102	328	79	322	401	82
Лог Степной	36	11	327	9	17	53	311	246	122	-	-	-	-	-
Лог Киндексай	75	11	682	21	17	124	371	245	151	429	74	255	329	130
Вдхр. Алюминстрой	10	4	250	2	20	10	214	144	149	-	-	-	-	-

Примечание. Величины, помеченные звездочкой (*), рассчитаны по методу А.Р.Константинова

В результате сопоставления испарения за теплый период года (IУ-X) с осадками за гидрологический год (XI 1959 г.-X 1960 г.) установлено, что на 5 водосборах величина испарения составляет от 76 до 96% от годовой суммы осадков (табл. 7). Остальная часть осадков израсходовалась на формирование поверхностного стока, увеличение влажности почво-грунтов и на питание грунтовых вод.

На водосборе лога Киндексай испарение на 30% превысило годовую сумму осадков, что, по-видимому, обусловлено неглубоким залеганием грунтовых вод.

Испарение с экспериментальных водосборов по расчетным методам

Для определения величин испарения при отсутствии наблюдений и восстановления пропусков в наблюдениях возникает необходимость в применении расчетных методов. О точности последних, применительно к условиям Кустанайской области, можно судить путем сопоставления результатов расчетов с фактическими данными наблюдений на экспериментальных водосборах. Такое сопоставление проведено для методов А.Р. Константинова, Б.В. Полякова и Н.А. Багрова по данным шести экспериментальных водосборов Кустанайской области.

С целью оценки точности получения расчетных данных определена обеспеченность отклонений их от наблюденных величин испарения (табл. 8).

Таблица 8

Обеспеченность отклонений расчетных месячных величин испарения с экспериментальных водосборов от наблюденных

Отклонение расчетных величин испарения, мм	Обеспеченность отклонений (%)		
	по методу Константинова	по методу Полякова	по методу Багрова
≤ 10	17	20	11
≤ 15	36	22	31
≤ 20	53	31	36
≤ 30	64	44	56
≤ 50	75	61	77
≤ 70	92	75	89
≤ 100	98	100	94
≤ 150	100	-	100

Сопоставление полученных данных показывает, что в условиях Кустанайской области лучшие по сравнению с другими методами результаты расчета дает метод Константинова. Так, например, по этому методу отклонения рассчитанных величин испарения от наблюденных до 20% имеют место в 53% случаев (19 случаев из 36), тогда как по методу Полякова такие отклонения обеспечиваются на 31%, а по методу Багрова -на 36%.

Следует отметить, что отдельные отклонения рассчитанных по всем методам, в том числе по методу Константинова, месячных величин испарения от наблюденных достигают 50-100% и более.

Отклонения сумм испарения за весь период наблюдений (У-Х), определенных по методу Константинова, находятся в пределах от -15 до + 22%. По другим же методам испарение за май-октябрь оказалось ниже наблюденного на 14 - 46%.

Окончательные рекомендации о применимости того или иного метода к расчетам испарения в пределах Кустанайской области при отсутствии данных наблюдений, по-видимому, смогут быть сделаны после дальнейшей проверки рассмотренных и других методов по материалам наблюдений в последующие годы.

Каулина К. И., ст. инж.
(Каменностепная ГМО, ст. Таловая, Воронежской обл.)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ С ПОЧВЫ В КАМЕННОЙ СТЕПИ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

В настоящее время существуют несколько методов для определения испарения с почвы. Основными из них являются: метод почвенных испарителей, методы теплового и водного баланса и градиентный.

Эти методы и были положены в основу наших исследований, которые имели цель выяснить, какой из этих методов наиболее простой, нетрудоемкий и дающий надежные величины испарения. Недостатком этих исследований явилось то, что сравнительные наблюдения проводились не сразу по всем указанным выше методам. Так, в 1954 и 1956-57 гг. производилось сравнение методов почвенных испарителей, водного баланса и градиентного (схемы А.Р.Константинова и М.П. Тимофеева). В 1958-60 гг. на одной из площадок проводилось сравнение методов почвенных испарителей, водного баланса и градиентного, описанного в Руководстве по производству наблюдений над испарением с сельскохозяйственных полей (часть II). Кроме того, в 1960 г. на другой площадке производилось сравнение методов теплового баланса (полного и упрощенного), почвенных испарителей, градиентного (схема Тимофеева) и водного баланса.

Наблюдения по указанным выше методам проводились на полях Института сельского хозяйства им. Докучаева, расположенных в степи. Эти поля вытянуты с севера на юг и имеют размеры 1100 х 225 м. Поверхность их ровная. Почвенные испарительные площадки располагались в центре полей. Теперь остановимся коротко на методике проводимых исследований.

Метод почвенных испарителей

Испарение определялось при помощи почвенных испарителей ГГИ-500. Суммарное испарение на полях с сельскохозяйственными культурами измерялось испарителями высотой 1 м (за исключением 1956 г., когда для этой цели были использованы испарители высотой 0,5 м), на залежи и пару - испарителями высотой 0,5 м.

Монолиты в метровых испарителях не менялись в течение всего вегетационного периода, в 0,5-метровых на залежи и пару менялись через 15 дней и на полях с сельскохозяйственной культурой -через 10 дней.

Все наблюдения и обработка материалов наблюдений по испарителям с I957 г. проводились согласно методике, изложенной в Руководстве по производству наблюдений над испарением с сельскохозяйственных полей, часть I.

Метод водного баланса

Испарение определялось по изменению влагосодержания в метровом слое почвы за определенное время плюс осадки. Количество влаги, просочившейся в более глубокие слои, не учитывалось, считая, что в условиях засушливого климата Каменной Степи эта величина очень мала.

Определение влажности почвы производилось на полях с сельскохозяйственными культурами 3 раза в месяц, на пару и залежи -2 раза в месяц. Взятие проб на влажность велось при помощи бура с 4-кратной повторностью в скважинах, расположенных по 4 углам почвенной испарительной площадки.

Метод теплового баланса

Были произведены расчеты по методу полного теплового баланса, а также по упрощенному методу.

По полному методу теплового баланса испарение вычислялось по формуле М.И. Будыко, т.е. по потере тепла на испарение влаги за короткие сроки (часы, минуты)

$$E = \frac{(B-P)\,\Delta e}{\Delta e + 0{,}64\,\Delta t}\ (\text{мм/час}),$$

где B - величина радиационного баланса, P - величина теплового потока в почву, Δe - разность абсолютной влажности воздуха на высотах 0,5 и 2 м и Δt - разность температур на тех же высотах.

Все необходимые для вычисления по этой формуле наблюдения проводились на основной метеорологической площадке на залежи. Радиационный баланс измерялся непосредственно. Величина теплового потока в почву определялась расчетным путем по данным актинометрических измерений и градиентных наблюдений над температурой, влажностью воздуха и скоростью ветра на 2-х высотах, а также за температурой и влажностью почвы на различных глубинах.

Все наблюдения и обработка материалов производились согласно Методическим указаниям гидрометеорологическим станциям, № 5, I954.

Упрощенный метод теплового баланса был разработан В.В. Романовым для вычисления испарения с болот. В Каменной Степи этот метод был испытан для расчетов испарения на залежи. Сущность его

заключается в том, что расчеты испарения производятся за длительные промежутки времени (декада и больше), используя для этого данные самописцев (термографов и гигрографов) и стандартных метеорологических наблюдений. Самописцы, хотя они и менее точны, чем аспирационный психрометр, обеспечивают непрерывную круглосуточную запись градиентов метеоэлементов.

В упрощенном методе теплового баланса вычисление испарения производится также за часовые сроки, но по данным, осредненным за декаду. Расчет испарения производится по формуле

$$E = 10 \sum_{1}^{24} \frac{R - Q}{60\left(1 + 0{,}64 \frac{\Delta t}{\Delta e}\right)} - \frac{Q}{\mathcal{L}_{cp}},$$

где E - суммарное испарение за декаду, R - радиационный баланс в кал/см^2 декада, Q - суммарная величина потока тепла в почву в кал/см^2 декада, Δt и Δe - разность температур и абсолютной влажности воздуха на высотах 0,5 и 2 м и $\mathcal{L}_{cp}$ - среднее за все 24 часа значение знаменателя первого члена в формуле, т.е.

$$\sum_{1}^{24} \frac{60\left(1 + 0{,}64 \frac{\Delta t}{\Delta e}\right)}{24}.$$

Величины радиационного баланса и потока тепла в почву вычисляются по данным стандартных метеорологических наблюдений. Величины Δt и Δe получают по записям термографов и гигрографов на двух различных уровнях (0,5 и 2 м).

В Методических указаниях . УГМС № 59 (Изд. ГГИ, 1961) имеются номограммы, облегчающие обработку материалов.

Градиентный метод

В основу наших исследований были положены три расчетных схемы по данным градиентных наблюдений Константинова, Тимофеева и схема, изложенная в Руководстве по производству наблюдений над испарением с сельскохозяйственных полей, часть II.

Формула Константинова имеет вид:

$$E = 0{,}348 \cdot 10^{-7} \left(e_{20} - e_{200}\right) \cdot K \left(мм/сек\right),$$

где e_{20} и e_{200} - абсолютная влажность воздуха на высотах 20 и 200 см; K - коэффициент турбулентности. А.Р.Константиновым построен график, облегчающий расчеты испарения по этой формуле, т.к. расчет коэффициента турбулентности очень громоздок. Все наблюдения и расчеты испарения производились согласно Временным инструктивным указаниям к постановке градиентных наблюдений и к методике расчета испарения на стоковых станциях ГУГМС составленных Константиновым.

Кроме того, описание его схемы дается в работах [4,7]. Для вычисления испарения по указанной схеме необходимо проведение градиентных наблюдений над температурой и влажностью воздуха и скоростью ветра на высотах 20 и 200 см. Наблюдения проводились в дневное время в сроки 7, I0, I3, I6 и I9 час. Испарение за ночное время принималось равным нулю. Суточные суммы вычислялись по данным срочных наблюдений.

По схеме Тимофеева испарение вычислялось по формуле $E = 2,1 \cdot K \cdot \Delta e$. Коэффициент турбулентного обмена определялся по формуле

$$K = 0,104\, \Delta U \left(1 + 1,38 \frac{\Delta t}{\Delta U^2}\right) \quad см^2/сек .$$

Для расчета были использованы данные тех же наблюдений, что и по схеме Константинова.

Третьей схемой расчета испарения по данным градиентных наблюдений явилась схема, изложенная в Руководстве по производству наблюдений над испарением с сельскохозяйственных полей, часть П.

В основу расчетов положена формула Д. Л. Лайхтмана

$E = a U_1 \Delta e$, где U_1 - скорость ветра на высоте I м, Δe - разность абсолютной влажности воздуха на высотах 0,5 и 2 м, a - коэффициент, зависящий от разности температуры на двух высотах

$$a = \frac{0,41\ \varepsilon^2 Z^{2\varepsilon}}{(1-\varepsilon)^2 \left(Z_1^{\varepsilon} - Z_0^{\varepsilon}\right)\left(Z_2^{\varepsilon} - Z_{0,5}^{\varepsilon}\right)} .$$

Здесь ε - параметр устойчивости атмосферы, Z_0 - параметр шероховатости, $Z_{0,5} = 0,5$м, $Z_1 = 1$м и $Z_2 = 2$м.

Обработка материалов проводилась не по формулам, а по имеющейся в Руководстве номограмме, которая потом была нами заменена на еще более удобную линейку, сконструированную инженером гидрометобсерватории В. А. Каруна, наподобие логарифмической линейки.

Результаты сравнения методов почвенных испарителей, водного баланса и градиентного (Константинова и Тимофеева)

Из табл. I, в которой приведены данные испарения за длительные промежутки времени, видно, что в эти годы наблюдаются в одном случае более, а в другом менее значительные различия между величинами испарения, определенными указанными выше методами.

Таблица I

Год	Период наблюдений	Культура	Испарение, мм			
			по методу почвенных испарителей	по градиентному методу		по методу водного баланса для слоя 0-100 см
				Константинова	Тимофеева	
1954	8/УП-29/IX	овес	103	119	321	135
1956	10/V-19/VП	озим.пшеница	134	137	178	236
1957	11/У-1/X	залежь	185	248	341	-
1957	6/У-3/VШ	пар	104	217	386	108
1958	17/У-1/XI	залежь	414	197	148	-

Так, в 1954 г. наиболее близкие результаты дают три метода: почвенных испарителей, водного баланса и градиентный Константинова. Схема Тимофеева дает значительно завышенное испарение. Почти одинаковые значения испарения по двум методам (испарителей и водного баланса) получены в 1957 г.

В 1957 г. на залежи метод Константинова дает величины испарения на 33%, а Тимофеева на 84% выше, чем метод испарителей. В этом же году на пару по схеме Константинова испарение в 2 раза, а по схеме Тимофеева в 3,5 раза выше, чем по методам водного баланса и почвенных испарителей.

Такое соотношение величин наблюдалось, в основном, в засушливые годы, каким, например, был 1957 г. В 1958 г., который был исключительно дождливым, соотношение величин испарения будет другим, т.е. испарение по методу почвенных испарителей почти в 3 раза выше, чем по обоим градиентным методам.

Если же сравнить величины испарения за более короткие сроки (порядка 5 дней), то в этом случае наблюдаются значительные различия между всеми тремя методами. Метод водного баланса почвы в этом случае также дает значительные отклонения от метода почвенных испарителей.

В жаркую сухую погоду преобладают сверхадиабатические градиенты; по формуле Тимофеева в этом случае получаются очень высокие значения коэффициентов обмена [4], отсюда и большие величины испарения.

Однако, хотя Константиновым и была учтена температурная стратификация, величины испарения по его формуле получаются также более завышенные, чем по методу почвенных испарителей. Особенно это относится к засушливому 1957 г. Таким образом, оба градиентных

метода дают значительные различия между собой и между методом почвенных испарителей. В 1958 г., когда преобладала пасмурная и дождливая погода, наблюдались очень частые инверсии, в результате чего величины испарения по обоим градиентным методам оказались ниже, чем по показаниям испарителей. К сожалению, в 1958 г. на залежи не проводились определения влажности почвы, поэтому нет возможности проверить истинность значений испарения по методу почвенных испарителей на этой площадке. Следует полагать, что в этом случае испарители дали завышенное испарение за счет переувлажнения монолитов в испарителях, так как такая же картина наблюдалась и на другом поле в этом же году.

В случае засушливых периодов испарители не могут обеспечить нормальное развитие растений, которые угнетаются, а следовательно,и меньше транспирируют.

Однако при периодическом выпадении дождей и при негустом растительном покрове растения развиваются нормально. 1957 г. был засушливым, поэтому растения в несменяемых испарителях, несмотря на большую их высоту, угнетались и отличались от растений в поле.

Как показали наблюдения 1961 г.,при частом выпадении дождей растения развиваются нормально. Фазы развития их наступают почти одновременно в поле и в испарителе. Правда, даже и в этом случае наблюдается некоторое отставание (например высота растений ниже, чем в поле), но оно незначительно.

Результаты сравнения методов почвенных испарителей, водного баланса и градиентного

Наблюдения над испарением по этим трем методам проводились в течение 3-х лет (1958-60 гг.), из которых 1958 г. был дождливым и прохладным, 1959 г. был сухим и жарким, а 1960 г. был умеренно теплым с частым выпадением осадков в июле и августе.

В табл. 2 приведены данные по испарению, определенные тремя методами, за отдельные периоды и в целом за сезон 1958 г.(в мм)

Таблица 2

Период наблюдений	По методу почвенных испарителей	По градиентному методу	По методу водного баланса
1958 г.			
6/У - 16/У	23,1	5,6	30,9
16/У - 26/У	48,8	7,4	47,1
26/У - 6/УI	58,8	12,4	59,0
Сумма	131	25	137

Период наблюдений	По методу почвенных испарителей	По градиентному методу	По методу водного баланса
6/VI - 21/VI	45,9	24,5	37,6
21/VI - 26/VI	31,2	14,0	22,3
26/VI - 6/VII	49,4	14,1	34,2
Сумма	126	53	94
6/VII - 16/VII	68,5	17,6	52,2
16/VII - 26/VII	33,6	25,7	32,4
26/VII - 6/VIII	12,1	5,0	12,4
Сумма	114	48	97
6/VIII - 16/VIII	8,6	-4,6	8,6
16/VIII - 1/IX	11,0	-16,2	15,0
Сумма	19,6	-20,8	23,6
1/IX - 16/IX	17,2	-15,8	1,4
16/IX - 1/X	11,7	-13,4	-0,3
Сумма	28,9	-29,2	1,1
За весь период	420	76	353

Из таблицы видно, что за периоды порядка 10-30 дней наблюдаются значительные различия между тремя методами.

Метод водного баланса дает величины испарения, даже и за эти короткие промежутки времени сравнительно близкие к методу почвенных испарителей. Градиентный же метод дает испарение в несколько раз меньше, чем методы водного баланса и почвенных испарителей.

В целом за весь период наблюдений испарение, определенное по методу водного баланса, на 16% ниже, чем по методу почвенных испарителей, что объясняется в основном значительной вариацией влажности почвы на поле. Градиентный же метод дает величины испарения в 5 раз ниже, чем метод почвенных испарителей.

Заниженные величины испарения, определенные градиентным методом, получаются за счет отрицательных разностей абсолютной влажности воздуха, которые наблюдаются даже и в полуденные часы, что в действительности трудно объяснить.

Л.В. Дубровин [6] отмечает, что отрицательные разности влажности возникают за счет местной адвекции влаги. Действительно, поля, на которых проводились наблюдения, имеют небольшие площади (24 га) и форму прямоугольников, причем ширина одной стороны всего 220 м. Эти поля засеваются разными сельскохозяйственными культурами (кукуруза, ячмень, пшеница и т.д.), транспирация которых разная.

В результате такой неоднородности влажности испаряющей поверхности почвы возникает местный перенос влаги.

Сплошь отрицательные величины испарения получаются в августе-сентябре, когда отрицательные разности влажности воздуха преобладают. В это время ячмень на исследуемом поле был скошен, а преобладал приток более влажного воздуха с соседнего поля, занятого кукурузой.

Следует заметить, что при измерении испарения градиентными методами Константинова и Тимофеева отрицательные разности абсолютной влажности воздуха также наблюдались, но реже, что, возможно, объясняется тем, что по этим двум методам температура воздуха отсчитывалась за интервал 5-10 мин, а по указанному выше методу наблюдения проводились в течение 30 мин, и за это время наблюдались более значительные пульсации воздуха. Если взять величины испарения, определенные этими методами за последующие 1959-60 гг., которые различались по метеорологическим условиям, то картина получается такая же, как и в 1958 г. (табл. 3), т.е. испарение по градиентному методу оказывается значительно ниже, чем по методу почвенных испарителей и водного баланса почвы. Два же последних метода дают довольно близкие величины. Так, в 1959 г. разница между ними составляла всего 13%, в 1960 г.-19%.

Таблица 3

Период наблюдений	По методу почвенных испарителей, мм	По градиентному методу, мм	По методу водного баланса, мм
1959 г.			
27/IУ - 4/УШ	195	43	221
1960 г.			
26/У - 16/IX	251	129	203

Таким образом и этот градиентный метод также дает неудовлетворительные результаты.

Результаты сравнения методов почвенных испарителей, градиентного, водного и теплового баланса

По этим методам были произведены расчеты за один (1960) год, данные за который приведены в табл. 4. Из таблицы видно, что в сумме за три месяца оба метода теплового баланса показывают почти одинаковые величины испарения. Близок к ним и метод водного баланса. Величины испарения, измеренные по методу почвенных испарителей, ниже, чем по остальным трем.

Соотношения между месячными суммами испарения, полученными различными методами, следующие.

Оба метода теплового баланса и водного баланса почти во все месяцы давали величины испарения довольно близкие между собой.

Метод почвенных испарителей в июне и июле дал величину испарения ниже; это следует объяснить тем, что ввиду высокого и густого травостоя испарители (высотой 50 см) не обеспечивали полностью испарение с них.

В августе после покоса травостой уже не развивался столь интенсивно, как в июне и июле, поэтому величина испарения близка к величине испарения, определенной другими методами.

Таким образом, метод теплового баланса (полный и упрощенный), являясь наиболее обоснованным, в тоже время является и более точным, но он очень сложен и трудоемок.

Таблица 4

Период наблюдений	Методы				
	полного теплового баланса	упрощенного теплового баланса	почвенных испарителей	градиентный	водного баланса в слое 0-100см
1960 г.					
5/VI - I4/VI	30,8	30,0	22,5	6,3	49,7
I5/VI-24/VI	46,8	36,8	22,9	-5,7	I7,3
25/VI-4/VII	I7,2	29,4	II,I	-I5,I	I6,6
Сумма	94,8	96,2	56,5	-I4,5	83,6
5/VII - I4/VII	3I,0	29,3	26,3	I5,I	I3,7
I4/VII - 24/VII	37,7	36,4	I7,7	3I,5	38,0
25/VII - 3/VIII	28,9	39,3	2I,7	40,5	32,8
Сумма	97,6	I05,0	65,7	87,I	84,5
4/VIII - I3/VIII	24,9	I5,4	I4,8	I8,8	24,3
I4/VIII - 23/VIII	I6,9	I8,9	I9,0	I7,6	II,0
24/VIII - 2/IX	I9,I	20,7	2I,9	I7,5	22,I
Сумма	60,9	55,0	55,7	53,9	57,4
Сумма с 5/VI-2/IX	253	256	I78	-	226

Выводы

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

I. Метод почвенных испарителей можно использовать для измерения испарения с любой подстилающей поверхности и в любых условиях рельефа. Только при помощи его можно измерить отдельно сум-

марное испарение и транспирацию,что нельзя сделать другими методами.Этот метод требует незначительных затрат труда и времени, а обработка его очень проста.Величины испарения,измеренные при помощи почвенных испарителей,близки к испарению в естественных условиях.Однако при измерении суммарного испарения с высокого и густого травостоя испарители высотой 50 см дают заниженные величины испарения,так как при взятии монолита подрезаются боковые корни и растения развиваются менее нормально, чем в естественных условиях.Даже в испарителях глубиной 100 см при длительном отсутствии осадков растения угнетаются.

2. Градиентный метод, изложенный в Руководстве по производству наблюдений над испарением с сельскохозяйственных полей, часть П , очень прост, обработка его не сложна и не требует специальной подготовки наблюдателя, но он дает неудовлетворительные данные на небольших площадях, занятых различными сельскохозяйственными культурами.

Остальные расчетные схемы по данным градиентных наблюдений также дают неудовлетворительные данные, что в основном связано с неточностью учета коэффициента турбулентности, а на небольших площадях искажения вносятся еще и возникающей местной адвекцией влаги.

3. Метод водного баланса дает удовлетворительные результаты при подсчете испарения за длительные промежутки времени.Для большей точности этот метод требует большого количества повторностей определения влажности почвы. Трудностью при определении испарения методом водного баланса является определение просочившейся влаги в более глубокие слои. В условиях засушливого климата Каменной Степи эта величина очень мала. Поэтому испарение, определенное по методу водного баланса,близко к испарению,измеренному методом теплового баланса и почвенных испарителей.

4. Метод полного теплового баланса требует значительного количества сложных наблюдений, обработка его очень сложна и громоздка, но испарение, определенное по этому методу,более близко к естественному, чем по другим методам.

5. Метод упрощенного теплового баланса требует проведения менее сложных наблюдений и расчетов, но обработка его все же еще громоздка. Данные испарения, рассчитанные по этому методу,близки к методу полного теплового баланса, т.е. близки к естественным.

Таким образом, из всех проанализированных нами методов наиболее приемлемым для метеорологической сети можно считать метод почвенных испарителей, как наиболее простой и сравнительно точ-

ный. Для получения испарения за длительные промежутки времени можно применять метод водного баланса почвы.

Остальные методы или очень сложны (метод теплового баланса) или не дают надежных данных (градиентный метод).

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по производству наблюдений над испарением с сельскохозяйственных полей, часть I.-Наблюдения над испарением методом почвенных испарителей.Гидрометеоиздат, Л.,1957.
2. Руководство по производству наблюдений над испарением с сельскохозяйственных полей, часть II.-Наблюдения над испарением градиентным методом. Гидрометеоиздат, Л., 1957.
3. Методические указания гидрометеорологическим станциям,№ 5 (ГГО). Гидрометеоиздат, Л., 1954.
4. Константинов А.Р.-Расчет испарения в естественных условиях по данным градиентных наблюдений. Труды ГГИ, вып. 41(95), 1953.
5. Будыко М.И. и Тимофеев М.П.-О методах определения испарения. Метеорология и гидрология,№ 9, 1952.
6. Дубровин Л.В.-О влиянии местной адвекции влаги на результаты наблюдений за испарением. Труды ГГО, вып. 103, 1960.
7. Константинов А.Р.-Расчет испарения с сельскохозяйственных полей с учетом влияния лесных полос. Труды ГГИ, вып.34(88), 1952.
8. Филиппова А.К.-Определение испарения с почвы методом водного баланса. Труды ГГИ, вып. 48(102), 1958.

С.Л. Левин, канд.с.-х.наук
(АФИ, Ленинград)

ИСПАРЕНИЕ С ПОЛЕЙ, ЗАНЯТЫХ ОВОЩНЫМИ КУЛЬТУРАМИ, В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Овладение водным режимом сельскохозяйственных угодий для получения высоких и устойчивых урожаев обязывает знать потребность в воде различных растений. Потребность сельскохозяйственных растений в воде имеет локальный характер и существенно изменяется по зонам. Поэтому исследование закономерностей водного режима почв и растений неизбежно должно носить зональный и конкретный - в отношении культур-характер, прежде чем окажется возможным перейти к широким обобщениям в этом вопросе. Конкретное же решение вопроса о водопотреблении данной культуры, о нормах и времени поливов может быть осуществлено только путем исследования количественной стороны этого вопроса.

Испарение является едва ли не самой главной расходной статьей водного и теплового баланса. Изменяясь в широких пределах, в связи с изменением метеорологических условий, суммарное испарение (транспирация плюс физическое испарение с почвы) в первую очередь определяется интенсивностью солнечной радиации, точнее - величиной радиационного баланса.

В настоящем сообщении излагаются некоторые результаты исследований суммарного испарения и испарения с почвы, проведенные в 1959 и 1960 гг. на полях, занятых под культуру ранней капусты (сорт № I), на территории опытно-экспериментального хозяйства Агрофизического института в Менькове, Гатчинского района Ленинградской области.

Основная задача, которую мы старались разрешить, состояла в том, чтобы в условиях данного района Ленинградской области количественно оценить величины суммарного испарения с поля, занятого ранней капустой, выяснить связь интенсивности испарения с метеорологическими условиями и оценить долю непродуктивного испарения с почвы в общих потерях влаги.

Методика наблюдений

В качестве метода определения суммарного испарения был принят метод теплового баланса по схеме, изложенной в работе [2]. Для измерения испарения с поверхности почвы под растительностью мы использовали весовые почвенные испарители системы ГГО. Выбор

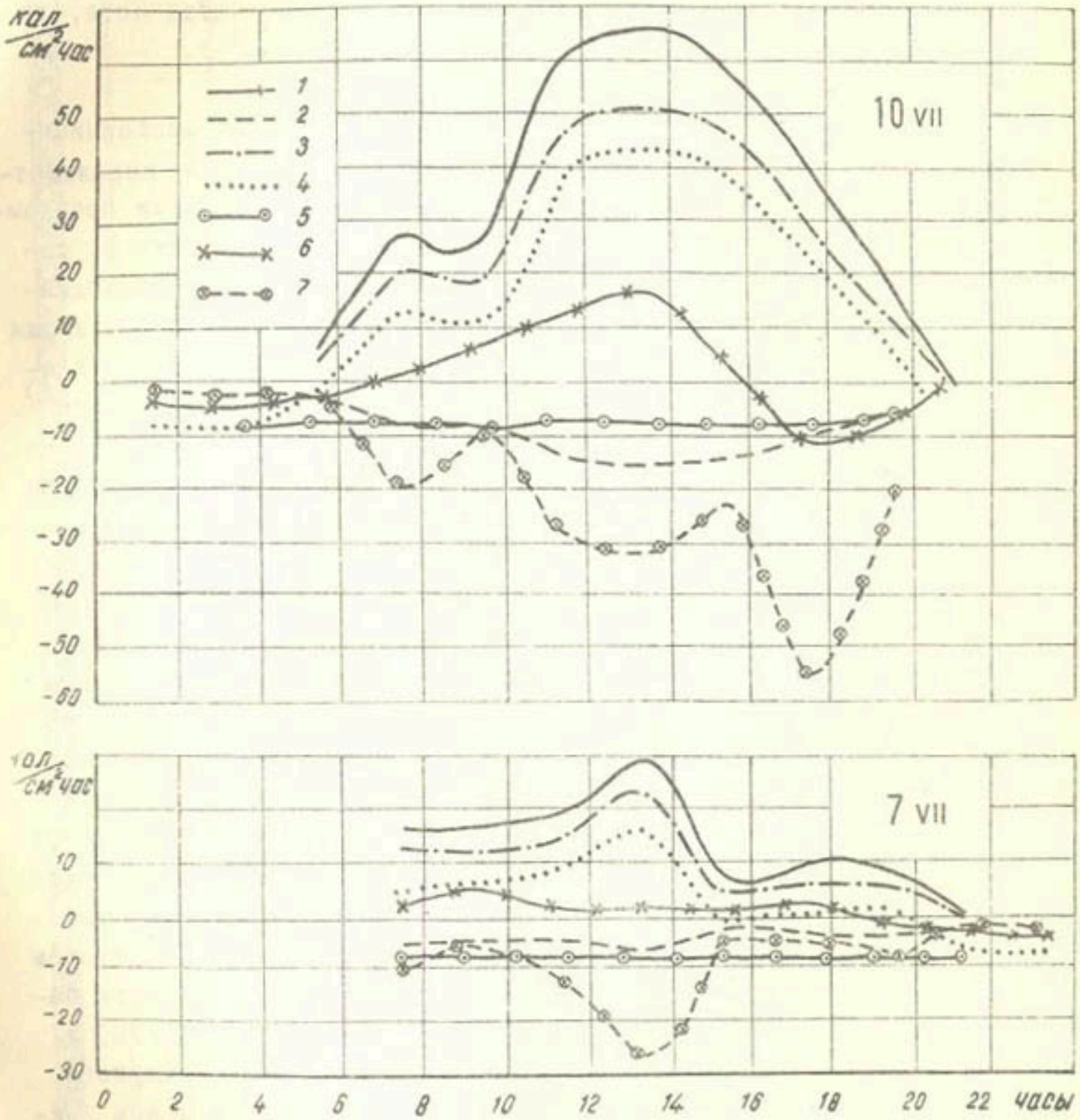


Рис. I. Суточный ход элементов теплового баланса. I - суммарная радиация $(S+D)$, 2 - отраженная радиация R, 3 - баланс коротковолновой радиации $Q_к$, 4 - радиационный баланс $Q_б$, 5 - эффективное излучение $E_{эф}$, 6 - поток тепла в почву $Q_п$, 7 - суммарное испарение E.

метода теплового баланса определялся характером поверхности поля, занятого овощной культурой, причем учитывалось, что метод теплового баланса, справедливо называемый универсальным, несмотря на его сложность и трудоемкость, наиболее приемлем в экспедиционных условиях в силу его независимости от характера подстилающей поверхности.

Измерительная площадка устраивалась в средней части поля, площадь которого в 1959 г. равнялась 0,8 га, в 1960 г. - несколько больше.

Измерения осуществлялись с помощью электрических дистанционных приборов, разработанных и изготовленных в АФИ (кроме пиранометра Янишевского). Наблюдения проводились по наиболее полной программе: 12 часовых измерений в сутки при пяти сериях измерений в течение каждого рабочего часа. Дистанционность измерений, проводившихся из измерительного пункта, удаленного от площадки с датчиками на 20 - 25 м , обеспечивала высокую производительность наблюдений, синхронность их и сохраняла растительность от вытаптывания[x].

Всего было проведено в течение вегетации ранней капусты в 1959 г. 16 дневных (с 8 до 20 часов) и 9 круглосуточных серий наблюдений, в 1960 г. - 22 дневных и 8 круглосуточных серий.

Результаты наблюдений

Интенсивность испарения с данного поля определяется сложным комплексом метеорологических и почвенных условий. Однако, как показывают наблюдения, решающее влияние на суммарное испарение оказывают величина радиационного баланса и влажность почвы. При оптимальном уровне влажности почвы отчетливо выявляется зависимость суммарного испарения от величины радиационного баланса. В разрезе суток эта зависимость может быть проиллюстрирована на ряде примеров. В качестве одного такого примера приводим рис. I, на котором нанесены кривые суммарной радиации ($S + D$), радиационного баланса (Q_δ) и суммарного испарения (E) для ясного (IO/VII) и пасмурного (7/VII) дня. Еще более отчетливое сходство суммарного испарения и хода радиационного баланса мы обнаружили в целом ряде случаев в течение отдельных дней. Так, 21 июня 1960 г. в свя-

---

x) Опрокидывание пиранометра Янишевского приемной поверхностью вниз и обратно осуществлялось при помощи дистанционного поворотного электромеханического устройства, разработанного автором статьи.

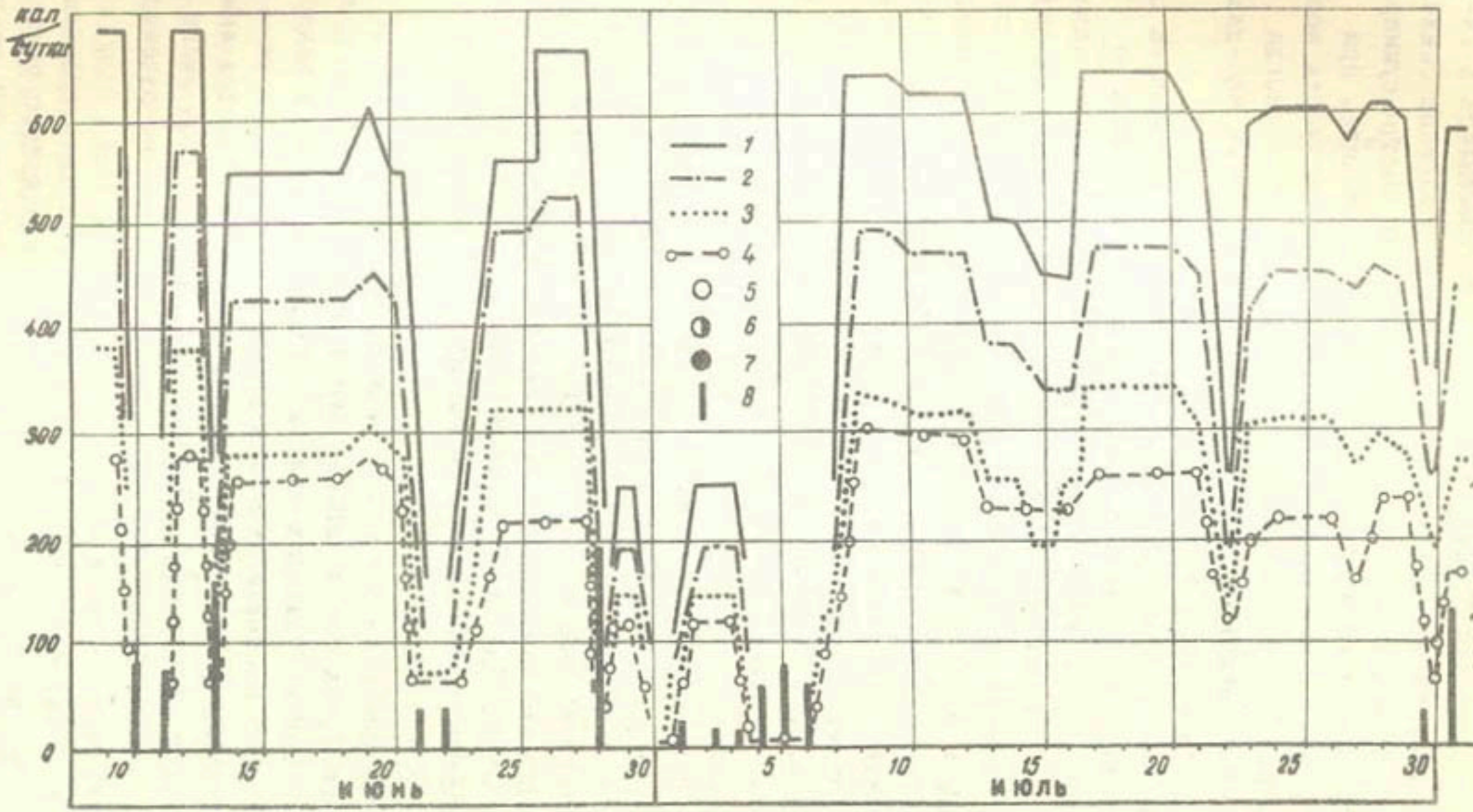


Рис.2. Ход суточных сумм элементов теплового баланса поля под ранней капустой. Меньково, 1959 г. I - суммарная радиация, 2 - баланс коротковолновой радиации, 3 - радиационный баланс, 4 - суммарное испарение (в кал/см^2 сутки), 5 - ясный день, 6 - облачный, 7 - пасмурный, 8 - осадки.

зм с появившейся в 10-12 часов дня облачностью снизился радиационный баланс и соответственно уменьшилась интенсивность суммарного испарения. На следующий день снижение Q_δ отмечалось в 14-16 часов и соответственно на это время пришлось и временное снижение E. Такие примеры убедительно показывают, насколько быстро суммарное испарение отзывается на изменения радиационного баланса. При этом следует подчеркнуть, что температура и дефицит влажности воздуха в такие часы почти не изменяются, сохраняя свой ход; иногда незначительное их уменьшение наступает с запаздыванием на час-два, когда ход Q_δ уже восстановился.

Рассмотрим сезонный ход суточных сумм затрат тепла на суммарное испарение в их связи с ходом радиационного баланса по данным 1959 г. (рис. 2). В верхней части рисунка условно обозначена облачность, и мы видим, как строго согласован ход солнечной радиации и величин суммарного испарения. В широких пределах изменяется величина Q_δ и в такой же степени колеблется и E, изменяясь от 5 до 2 мм/сутки соответственно в ясные и пасмурные дни. Разумеется, в чистом виде получить связь E и Q_δ в естественных условиях весьма затруднительно, так как одновременно взаимодействует целый ряд факторов, метеорологических и почвенных. Видно, однако, что после выпадения осадков, например, после 13/VI и 6/VII, в связи с увеличением влажности почвы и ростом испарения с почвы (U_n), возрастает и суммарное испарение E, достигая в такие дни 90% от Q_δ. Затем, по мере удаления от дня с осадками (см. ход кривых в ясные дни июля 1959 г.), разрыв между E и Q_δ возрастает и E составляет уже не 90% от Q_δ, а 70% и даже 65%. В среднем за вегетационный период 1959 г. суммарное испарение составляет 83% от величины радиационного баланса. Данные за 1960 г. мы приводим в виде графика связи суммарного испарения E и радиационного баланса Q_δ (рис. 3).

На вертикальной оси отложены величины затрат тепла на суммарное испарение, на оси абсцисс - значения радиационного баланса Q_δ (в одних и тех же единицах-кал/см^2 сутки). Из рисунка видно, что почти все наши экспериментальные данные, изображенные на графике точками, группируются вокруг прямой, которая и является линией корреляции между LE и Q_δ. Тангенс угла наклона этой линии равен 0,64, а с учетом данных за 6/VI, II и 18/VII 1960 г. отношение LE и Q_δ становится равным 0,70.

За оба года наблюдений это отношение в среднем оказывается равным 0,75. Таким образом, на испарение с поля, занятого ранней капустой, в Ленинградской области в среднем расходуется 3/4 всего посту-

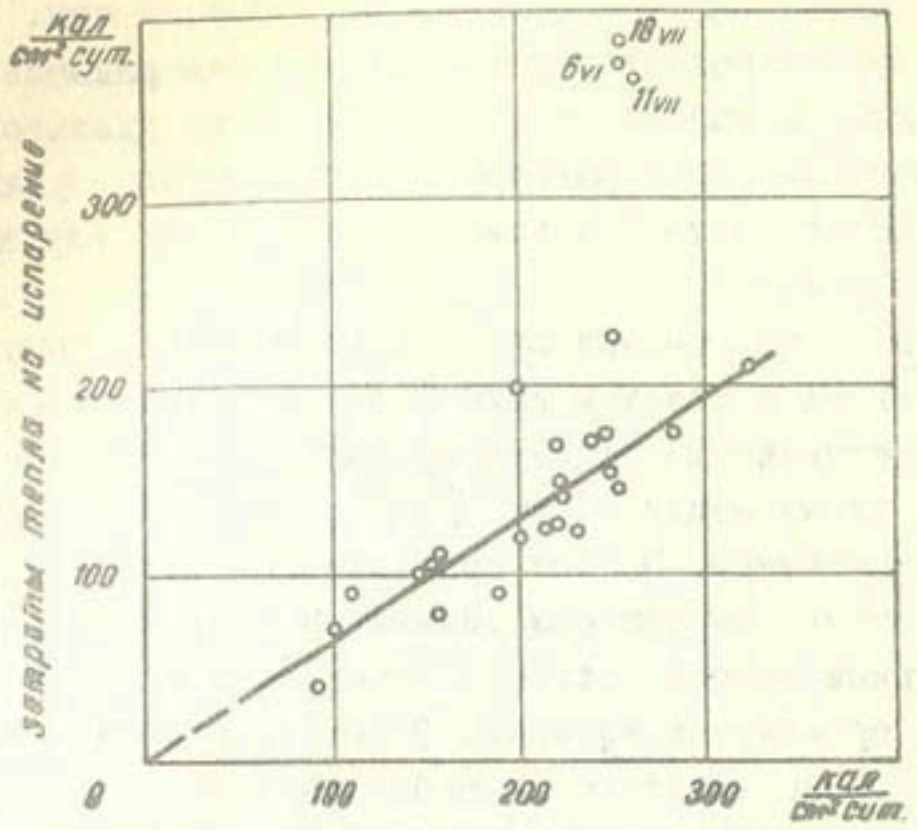


Рис. 3. Связь между суточными величинами радиационного баланса и затратами тепла на суточное испарение с поля под ранней капустой в 1960 г.

пающего на поле тепла Q_δ. Остальное тепло идет на нагревание почвы и приземного слоя воздуха.

В некоторые дни, однако , суммарное испарение резко возрастает или уменьшается по сравнению с его средними значениями. Здесь мы сталкиваемся с особенно сильным влиянием резко возросших или снизившихся значений температуры и влажности воздуха.

Особого внимания заслуживают дни с резко возросшим испарением, так как это может вредно повлиять на жизнедеятельность растений. На рис. 3, как упоминалось, есть группа точек, соответствующих таким дням (6/VI, II и I8/VII), когда затраты тепла на суммарное испарение значительно превысили энергетические ресурсы радиационного баланса, в I,4–I,5 раза. Следовательно, такое испарение могло происходить при использовании дополнительных количеств тепла, которое и поступило к растениям и почве из очень теплого и сухого воздуха, т.е. мы имеем здесь случаи влияния горизонтальной адвекции горячего и сухого воздуха. В самом деле, в эти дни температура воздуха была равна 26-28°, а дефицит влажности воздуха достигал 20 мб при скорости ветра в 3 м/сек. В другие дни температура воздуха была I9-20°, а дефицит влажности воздуха 7-I0 мб,

Таких дней в течение вегетации ранней капусты (УІ-УП) в Ленинградской области бывает, по-видимому, очень мало. По нашим данным, в 1959 году был лишь один такой день, в 1960 г. - три. При проведении прогностических расчетов такие случаи для районов избыточного увлажнения можно не учитывать ввиду малого их удельного веса в общей сумме испарения. Но в районах недостаточного увлажнения, подверженных действию частых суховеев, учёт таких случаев нам представляется необходимым.

Пользуясь долгосрочными прогнозами погоды и опубликованными в литературе данными о годовом ходе радиационного баланса, можно производить прогностические расчеты суммарного испарения при наличии коэффициентов связи между E и Q_s, полученных экспериментально для данной культуры. Но для практических нужд опытных хозяйств, колхозов и совхозов мы считаем возможным и нужным дать крайне упрощенный визуальный способ подсчета суммарного испарения за некоторый прошедший промежуток времени. В основу расчета должны быть положены данные экспериментальных наблюдений любым достаточно надежным методом на данной конкретной культуре в определенном районе. По осредненным за вегетационные периоды 1959 и 1960 гг. нашим данным суммарное испарение с поля, занятого ранней капустой, равно: в ясные дни - 4,5, в облачные дни - 2,7 и в пасмурные дни - 1,5 мм/сутки.

В опытном хозяйстве или колхозе должен вестись визуальный учет (табель) погоды по трем градациям: ясно, облачно, пасмурно. Суммарные потери влаги на испарение за некоторый прошедший промежуток времени или на данное число легко подсчитать по формуле:

$$E = 4{,}5 n_1 + 2{,}7 n_2 + 1{,}5 n_3 ,$$

где n_1, n_2 и n_3 - число дней соответственно с ясной, облачной и пасмурной погодой. Численные коэффициенты, использованные в этой формуле, могут быть для удобства подсчета округлены до 5, 3 и 2, что не приведет к существенным ошибкам (завышение E получится примерно на 10%, а это очень незначительная величина по сравнению с погрешностями учета эффективности осадков).

Полученная формула может быть упрощена путем объединения облачных и пасмурных дней в одну группу со средним коэффициентом, равным 2,5. Кроме того, учет потерь влаги на суммарное испарение, а также осадков может осуществляться на специально заготовленных бланках-графиках, имеющих линии разного наклона соответственно вышеприведенным коэффициентам.

В заключение раздела о суммарном испарении заметим, что полученные для ранней капусты данные можно использовать для оценки E с

некоторых других культур, пока не будут получены фактические экспериментальные данные по этим культурам. В литературе, в частности, в работе [1], имеются указания о сходстве сезонного хода суммарного испарения с различных культур, но в настоящее время к такой унификации следует пока подходить с осторожностью, принимая во внимание различия в фазах развития растений, глубине распространения корней и т.п.

Существенно важным является вопрос о доле физического испарения с поверхности почвы в общем расходе воды на испарение с поля. Физическое или непродуктивное испарение с поля является накладным расходом в водном балансе страны. Необходимо было оценить величину этих потерь, чтобы знать, есть ли экономическая целесообразность вести борьбу с ними или они настолько незначительны, что можно ими пренебречь. Нами проводились измерения физического испарения с междурядий ранней капусты методом весовых микроиспарителей ГГО. Сложность расчета общего испарения с почвы (U_n) состоит в том, что листовая поверхность данной культуры создает очень пеструю картину затенения поверхности почвы. Часть ее оказывается открытой (в плане) вплоть до максимального развития травостоя, часть затенена. Мощная листовая поверхность ранней капусты задерживает на себе часть осадков, и почва под листвой нередко остается почти сухой, тогда как в борозде почва смачивается беспрепятственно. Мы наблюдали многочисленные случаи, когда после дождя почва в средней части междурядий была предельно влажной, а под листвой оставалась почти сухой. Листья ранней капусты, имея чашеобразную форму, собирают и надолго, практически до полного испарения, сохраняют на своей восковой поверхности значительные количества воды[x]. Влага эта в почву почти не поступает; возможно, некоторая ее часть впитывается через листовую поверхность растений, но, очевидно, мало. Подсчет показывает, что таким путем задерживается 0,5–1,0 мм осадков (или поливной воды). Но эту влагу нельзя считать полностью неиспользуемой, т.к. при своем испарении она увлажняет припочвенный воздух, уменьшая этим транспирацию и испарение с почвы.

Естественно было предположить, что испарение с этих участков почвы будет различным, и нельзя распространять данные по открытой части борозды на всю поверхность почвы под растениями. Измерение ис-

---

[x] Так 30-31 июля 1959 г. после дождя мы собрали воду с листьев ранней капусты и измерили ее объем. Оказалось, что отдельными листьями было задержано от 25 до 135 см^3 воды. С отдельных кустов было собрано от 35 до 440 см^3 воды (у других сортов капусты этого не наблюдается).

парения с почвы проводилось в двукратной повторности, как в открытой части борозды, так и затененной части; взвешивание испарителей - через каждые два часа. Измерения показали, что суточные суммы испарения с почвы в открытой части борозды в 2-5 раз больше, чем таковые в затененной части поля. Поэтому подсчет полного испарения с поверхности почвы был произведен путем суммирования обоих слагаемых - испарения с открытой и затененной части - при учете степени затенения.

В табл.I приведены некоторые данные по испарению с почвы, полученные нами в 1959 и 1960 гг. В июле 1959 г. был длительный бездождный период, почва в слое 0-10 см пересохла до 8%, образовался мульчслой, и испарение с почвы упало до 9-14% от суммарного.

Таблица I

Непродуктивное испарение с поверхности почвы U_n в связи с влажностью почвы W_n и его отношение к общим потерям влаги на суммарное испарение $\frac{U_n}{E}$

Характеристика	1959 г.			1960 г.							
	9/VII	21/VII	23/VII	23/VI	6/VII	13/VII	16/VII	18/VII	20/VII	22/VII	25/VII
W_n, %	20	8	8	26	26	24	24	24	23	21	18
U_n, $\frac{мм}{сут.}$	1,8	0,4	0,4	1,7	1,2	0,9	1,8	1,3	1,7	0,5	1,2
$\frac{U_n}{E}$, %	36	9	14	70	52	42	62	20	52	71	44

Все данные 1960 г. получены при высокой влажности почвы. Среднесуточное испарение с почвы в этих условиях равно в среднем 52% от суммарного, т.е. составляет величину, с которой нельзя не считаться. Таким образом, в течение вегетации ранней капусты испарение с почвы изменяется следующим образом. К моменту высадки рассады в грунт U_n равно E. Затем по мере роста растений возрастает транспирация и убывает U_n. При максимальном развитии ранней капусты и при максимальном затенении почвы, равном 0,75, испарение с почвы U_n снижается до 50% от E при высокой влажности почвы и до 10% при сильно подсохшем поверхностном слое поч-

вы. Эти цифры показывают, что различные мероприятия, направленные на уменьшение непроизводительного испарения с почвы, целесообразны в особенности в первую треть вегетационного периода, когда $И_п$ составляет от I00 до 50% от суммарного. В бездождные периоды (и при отсутствии поливов) доля $И_п$ в общем испарении невелика - не превышает I0-20%, поэтому меры по его снижению в эти периоды могут оказаться экономически неоправданными.

ЛИТЕРАТУРА

I. Пушкарев В.Ф., Константинов А.Р. - Характеристика режима испарения и транспирации с сельскохозяйственных полей в зоне избыточного увлажнения. Труды ГГИ, вып. 46 (I00), I954.

2. Рожанская О.Д. и Чудновский А.Ф. - Определение суммарного испарения сельскохозяйственного поля методом теплового баланса. Бюллетень научно-технической информации по агрономической физике; № I, I956.

В.В.Виноградов, мл. научн.сотр.
(ДНИГЛ ГГИ, с.Лубовское, Ростовской обл.)

ОПЫТ НЕПРЕРЫВНОЙ РЕГИСТРАЦИИ СУТОЧНОГО ХОДА ИСПАРЕНИЯ С ПОЧВЫ САМОПИСЦАМИ, УСТАНОВЛЕННЫМИ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ИСПАРИТЕЛЕ МАЛОЙ МОДЕЛИ

Известно, что гидравлические почвенные испарители предназначены для регистрации внутрисуточного хода и измерения суточных величин испарения с различных поверхностей суши. Описание конструкции ГПИ приводится в работах [1,2,4,5]. Конструкция гидравлического почвенного испарителя, рекомендованного для сети гидрометеорологических станций, и методика наблюдений над испарением с почвы описаны в Руководстве [3], согласно которому наблюдения над испарением с помощью ГПИ производятся 3 раза в сутки(7, 13 и 19 час). Очевидно, что для длительного исследования суточного хода испарения (конденсации) с помощью ГПИ необходимо возможно большее число сроков наблюдений.

В 1960 г. в Дубовской научно-исследовательской гидрологической лаборатории (ДНИГЛ) были произведены детальные наблюдения за внутрисуточным ходом испарения с поверхности суши на малом гидравлическом испарителе. Наблюдения показали, что чувствительность прибора вполне достаточна, чтобы число сроков наблюдений в сутки увеличить до 12 и более, но эта возможность ограничена необходимостью накрывания испарителя ветровой защитой перед каждым сроком наблюдений. В условиях ДНИГЛ действие ветра в течение длительных отрезков времени настолько значительно, что вынуждает наблюдателей накрывать испарители ветровой защитой на 15-20 мин., а не на 5-10 мин, как это указано в Руководстве [3].

Учитывая время на производство самих отсчетов по приборам, отрезки времени пребывания испарителя в закрытом состоянии увеличиваются еще более, что совершенно неприемлемо при большом количестве сроков наблюдений. Избежать этого при данной конструкции измерительной аппаратуры ГПИ без уменьшения точности измерений невозможно, так как приборы (микроизмерители) не приспособлены для регистрации ветровых колебаний плавающей системы испарителя и уровня воды в бассейне. Все измерения на ГПИ сводятся к производству отсчетов по микроизмерителям (иногда в комплекте с объемной бюреткой) в момент отрыва контактной иглы от поверхности ртути, когда плавающая система ГПИ и уровень воды в бассейне практически неподвижны. Естественно, возникает необходимость перевода показаний ГПИ на непрерывную регистрацию самописцами.

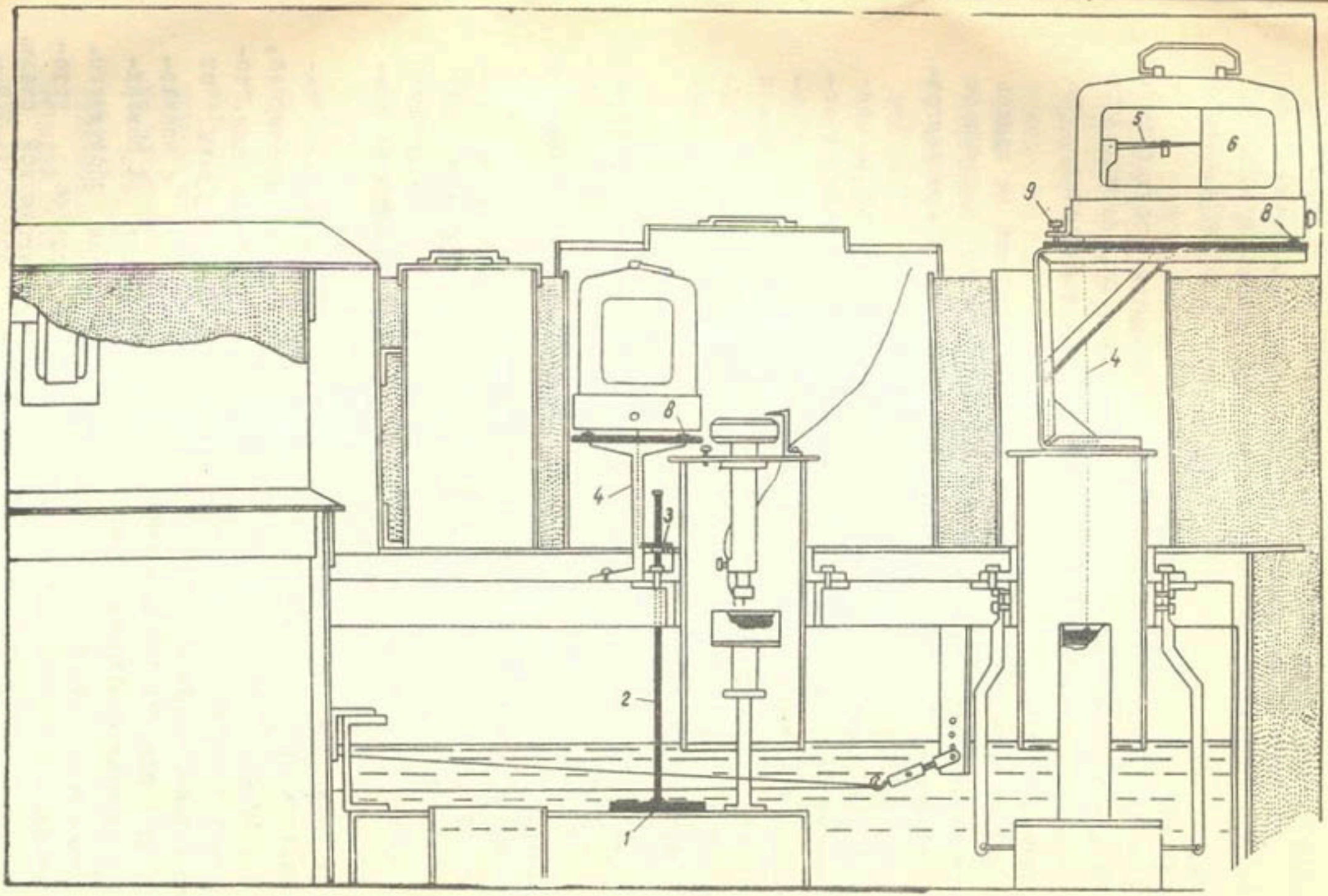


Рис.I. Схема установки самописцев вертикальных перемещений плавающей системы ГПИ и уровня воды в бассейне.

Гидравлические установки ВНИГЛ, позволяющие вести запись испарения с поверхности почвы, до сих пор являются уникальными. Строительство таких установок сопряжено с большими материальными затратами и техническими трудностями, которые не под силу гидрометеорологическим станциям.

В связи с этим в ДНИГЛ была предпринята попытка осуществить перевод регистрации колебаний плавающей системы гидравлического почвенного испарителя малой модели и уровня воды в бассейне на круглосуточную запись.

ГПИ является сетевым прибором, поэтому перевод его на запись может значительно повысить роль этого прибора в более глубоком изучении процесса испарения с поверхности суши в различных географических условиях.

Осенью 1960 года автором при участии сотрудников группы гидрофизики ДНИГЛ (П.М Авилова, Г.П. Романова) были построены и испытаны первые самописцы для ГПИ. Принципиально эти приборы не являются новыми, подобные им имеются на Валдае, но они не лишены особенностей в устройстве. Самописцы почти целиком собраны из деталей суточных термографов, выпускаемых Рижским заводом гидрометприборов.

Самописцы состоят из следующих основных узлов (рис.1): груза, передаточного механизма, записывающей части и корпуса. Груз состоит из свинцовой пластины(1), стойки(2)и зажимной муфты со штоком(3). Передаточный механизм включает оцинкованную цепь(4), тягу с серьгами, рычаг, регулятор длины рычага и ось. Записывающая часть состоит из стрелки с пером (5) и барабана с часовым механизмом (6). Корпус снабжен ножками (8) и установочным винтом (9). Самописец имеет отметчик, дающий возможность делать засечки времени на ленте, не открывая крышки прибора.

Самописцы, регистрирующие изменения погружения плавающей системы ГПИ, расположены в смотровых люках над поплавком испарителя, у микроизмерителей на столиках, укрепленных на связующей раме. Столики изготовлены из двутавровой балки. Приборы равно удалены от центра испарителя. Их передаточные механизмы соединены с поплавком ГПИ с помощью свинцовых пластин, свободно лежащих на поверхности поплавка и повторяющих вертикальные перемещения последнего.

Самописец, регистрирующий изменения воды в бассейне, установлен на специальной подставке, изготовленной из уголковой стали № 3. Подставка прикреплена к основанию микроизмерителя уровнемера. Свинцовая пластина этого самописца расположена на малом поплавке и соединена с самописцем оцинкованной цепью.

Самописец уровня воды расположен над поверхностью почвы, так как слишком малые размеры люка уровнемера не позволяют разместить его ниже.

Запись вертикальных перемещений плавающей системы ГПИ и уровня воды в бассейне с помощью самописцев производится на лентах стандартного образца (используются ленты термографа). Масштаб записи колебаний плавающей системы IO:I , а уровня воды 20 : I. Высота барабанов самописцев позволяет регистрировать 8-9-миллиметровые амплитуды вертикальных перемещений плавающей системы и 4 —миллиметровые амплитуды уровня воды в бассейне. Для увеличения амплитуды записи перемещений плавающей системы и уровня воды служит установочный винт (рис.I). В случае интенсивного испарения или выпадения дождя наблюдатель, при необходимости, действуя установочным винтом, поднимает или опускает перо на нужную высоту, не открывая крышки прибора. При этом совершенно не обязательно изменять положения пера на одинаковую величину на всех трех самописцах, так как перемещение пера по ленте точно фиксируется чернилами, а при обработке лент эти перемещения должным образом учитываются.

В принятой конструкции самописцев регистрация перемещения плавающей системы и уровня воды обратная: всплыванию (испарению) соответствует спад кривой на ленте, погружению (осадкам или конденсации) - подъем кривой. Опусканию уровня воды в бассейне соответствует подъем кривой на ленте, а подъему уровня - спад.

Ввиду малых размеров барабанов самописцев и создания удобства для быстрого монтажа и демонтажа ГПИ принято крепить самописцы к связующей раме не "намертво", а устанавливать их на стойки в специальных гнездах на трех опорах (две ножки и установочный винт). При такой установке самописцы могут быть легко и быстро сняты.

Тщательная подгонка гнезд под ножки и установочный винт самописца, их шлифовка и малый шаг резьбы установочного винта полностью исключают горизонтальные и вертикальные смещения прибора, не зависящие от действий наблюдателя.

Совершенно неважно, постоянно пространственное положение самописцев по вертикали или нет, важно только то, чтобы их перемещения полностью зависели от действий наблюдателя и автоматически регистрировались на ленте.

С помощью установочного винта наблюдатель приводит самописец во вращательное движение. Плоскость вращения самописца вертикальна и перпендикулярна оси, проходящей через основания ножек

корпуса прибора. Такое вращение (прямой и обратный ход) вызывает изменения размера самописцев в плане и смещение оси передаточного механизма относительно центра свинцовой пластины по вертикали и горизонтали, что связано с вращением рычага прибора и перемещением пера на ленте. Перемещение пера на ленте в этом случае имеет вид резких подъемов и спадов кривой по вертикали, параллельных вертикальной разграфке лент. Эти спады и подъемы исключаются при обработке лент самописцев, поскольку они совершенно не связаны с перемещением плавающей системы ГПИ.

В результате неравномерного по площади испарения с поверхности почвы, особенно при наличии растительного покрова, а также неравномерного распределения влаги на поверхности почвенного монолита в момент выпадения осадков, а следовательно, и различного по площади просачивания в почву, центр тяжести плавающей системы испарителя меняет свое пространственное положение по вертикали и горизонтали. Поэтому с изменением веса и непрерывным перераспределением влаги в почвенном монолите плавающая система ГПИ испытывает не только вертикальные, но и вращательные перемещения в вертикальной плоскости.

Вращение плавающей системы в вертикальной плоскости ведет к изменению плановых очертаний поплавка (нас интересует только поплавок), что связано с искажением записи всех трех самописцев, регистрирующих его перемещения. Ошибка в записи в любой конкретный момент равнозначна для всех трех самописцев плавающей системы.

Тщательно следя за горизонтальностью поверхности поплавка, "ошибку на перекос" в записи самописцев можно свести к минимуму, не выходя за пределы точности измерений. Например, при подъеме одного из краев поплавка и опускании противоположного на 2 см, плановое смещение краевых точек относительно центра окружности поплавка составит менее 0,3 мм, а максимальная ошибка в записи прибора, в случае гибкой связи свинцового груза с тягой, составит величину во много раз меньшую точности измерений. Перекосы плавающей системы с разностью отметок краевых точек в 4 см никогда не допускаются. Практически совершенно свободно можно избежать перекосов с разностью отметок краевых точек поплавка даже в I см, что сводит "ошибку на перекос" к ничтожно малой величине в сравнении с точностью измерений. Такого рода ошибки в показаниях самопишущих приборов ГПИ носят систематический характер. Они легко могут быть устранены при обнаружении перекосов плавающей системы заданной величины.

Большое влияние на запись приборов оказывает ветер. Под его воздействием плавающая система ГПИ испытывает колебательные и ко-

лебательно-вращательные перемещения в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Горизонтальные смещения плавающей системы относительно неподвижных частей ГПИ ограничены трос-расчалкой. Практически они очень малы, но по величине своей в несколько раз превосходят точность записи самописцев. Максимальные "ветровые ошибки"в результате вертикально-горизонтальных перемещений(по показаниям приборов) достигают 0,4-0,5 мм. Тем не менее они сколько-нибудь существенно не меняют точности записи приборов, так как порывистость ветра (неравномерность ветровых нагрузок) приводит к колебанию плавающей системы вокруг некоего среднего ее положения, а пилообразная запись на ленте легко осредняется.

Записи ветровых колебаний плавающей системы ГПИ и уровня воды в бассейне на лентах самописцев могут быть использованы при анализе материалов испарения. Последний не может быть произведен подробно без учета действия ветра. В случаях круглосуточной регистрации испарения (конденсации) необходимо располагать наравне с данными прочих метеорологических элементов записями скорости ветра. Материалом для определения скорости ветра в любой момент времени с успехом может служить запись вертикальных перемещений плавающей системы ГПИ и уровня воды в бассейне с помощью выше описанных приборов.

На лентах самописцев ветровые колебания плавающей системы и уровня воды хорошо заметны и могут быть довольно точно измерены.

Амплитуды колебаний под действием ветра находятся в прямой зависимости от скорости ветра. По зависимости между средней скоростью ветра и амплитудой вертикального перемещения плавающей системы или уровня воды в бассейне за любой непродолжительный отрезок времени можно определить скорость ветра в данный момент. Для установления такой зависимости были использованы наблюдения за скоростями ветра по анемометрам на высоте 0,2 и 2 м и средние амплитуды ветровых колебаний в записи приборов на ГПИ, расположенном в непосредственной близости от метеоплощадки. На рис. 2 представлены графики связи скоростей ветра на уровне 0,2 и 2 м от поверхности почвы и амплитуд колебаний плавающей системы ГПИ по показаниям одного из трех самописцев, в направлении которого дул ветер.

Таким образом, ГПИ, оборудованный самописцами, помимо его прямого назначения, можно использовать для регистрации скорости ветра.

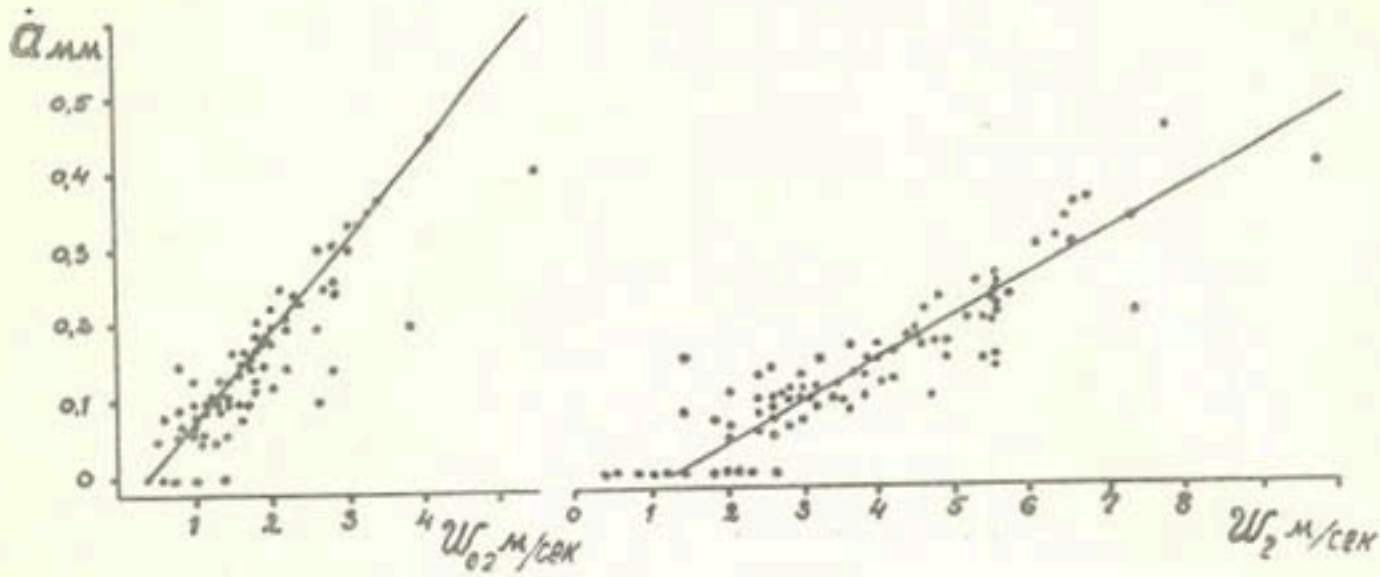


Рис.2. График связи между скоростью ветра (W) и амплитудой вертикальных перемещений плавающей системы ГПИ (а)

$W_{0,2}$ - скорость ветра на высоте 0,2 м,
W_2 - скорость ветра на высоте 2,0 м.

Результаты наблюдений над суточным ходом испарения (конденсации) с помощью ГПИ

В 1960 г. наблюдения проводились на озимой пшенице в период с 19 октября по 19 ноября (до наступления морозов с выпадением снега). Результаты наблюдений показали большое соответствие хода испарения и конденсации с ходом метеорологических элементов (температура воздуха, недостаток насыщения и скорость ветра), что дает основание считать материалы наблюдений качественными и правильно отражающими процесс влагообмена поверхности почвы с воздухом. В табл.I приведены суточные суммы и интенсивности испарения. Приведенные материалы показывают, что конденсация на поверхности почвы в условиях Сальских степей в осенний период составляет значительную долю в водообмене почва - воздух и что она соизмерима с величиной испарения.

Величина испарения за период с 19/X по 19/XI составила 38 мм, а величина конденсации - 22 мм. Количество осадков за

Таблица I

Суточные величины испарения и конденсации,
их интенсивности и значения метеорологических элементов
в период наблюдений на ГПИ (с I9/X по I9/XI I960 г.)

Дата	Испарение, мм/сутки	Конденсация, мм/сутки	Средняя интенсивность испарения, мм/час	Средняя интенсивность конденсации, мм/час	Максимальная интенсивность испарения, мм/час	Максимальная интенсивность конденсации, мм/час	Осадки, мм	Средняя температура воздуха, град	Средний недостаток насыщения, мб	Средняя скорость ветра, м/сек
I9/X с II ч	I,70	0,27	0,28	0,02	0,52	0,I3		I6,5	5,9	I,7
20	I,64	0,45	0,2I	0,II	0,33	0,I9	0,46	I5,8	3,9	I,8
2I	I,46	0,93	0,I5	0,I2	0,26	0,39	0,50	9,I	3,I	I,7
22	2,57	0,20	0,23	0,20	0,46	0,20		I3,2	6,2	I,I
23	I,39	I,33	0,20	0,I0	0,33	0,I3		9,3	2,5	2,6
24	0,2I	0,88	0,07	0,09	0,07	0,I3		3,2	0,9	I,4
25	2,08	0,2I	0,I5	0,07	0,26	0,07	0,I0	3,3	I,5	I,7
26	0,40	I,45	0,I0	0,II	0,I3	0,20	I,29	7,7	0,7	I,4
27	2,I8	0,74	0,20	0,II	0,I9	0,20		2,3	0,8	2,4
28	I,26	I,24	0,I4	0,I4	0,33	0,36	5,00	II,I	I,4	I,2
29	0,8I	0,89	0,I0	0,08	0,26	0,I3		7,4	I,3	I,7
30	I,92	0,67	0,I3	0,II	0,26	0,20		4,5	I,6	0,9
3I	3,23	0,00	0,20	-	0,52	-		II,4	3,7	I,I
I/XI	0,79	0,89	0,I3	0,09	0,26	0,20		I0,7	I,3	0,9
2	0,30	I,46	0,06	0,II	0,I3	0,25	5,57	6,I	0,2	0,7
3	0,07	I,8I	0,07	0,09	0,07	0,I3		0,3	-0,I	I,2
4	0,8I	0,28	0,I2	0,07	0,20	0,07		-0,8	0,0	I,7
5	I,I5	0,34	0,09	0,08	0,I3	0,I3		I,8	0,6	I,3
6	0,94	0,33	0,I0	0,07	0,26	0,07		3,2	I,3	0,9
7	0,93	0,88	0,I3	0,09	0,26	0,I3		4,I	I,0	I,5
8	I,52	0,4I	0,I7	0,08	0,33	0,I3		6,8	2,9	I,7
9	I,7I	0,4I	0,I9	0,08	0,33	0,I3		5,8	2,5	2,0
I0	I,33	0,28	0,I3	0,07	0,33	0,07		6,5	2,3	I,3
II	I,08	0,62	0,I2	0,08	0,20	0,I3		4,6	0,8	0,6
I2	0,65	0,76	0,I3	0,08	0,I3	0,I3		2,4	0,4	0,4
I3	0,25	I,86	0,06	0,I9	0,07	0,26	0,69	3,2	0,6	I,2
I4	0,80	0,28	0,08	0,05	0,I3	0,09	3,42	-2,6	-0,6	I,I

Дата	Испарение, мм/сутки	Конденсация, мм/сутки	Средняя интенсивность испарения, мм/час	Средняя интенсивность конденсации, мм/час	Максимальная интенсивность испарения, мм/час	Максимальная интенсивность конденсации, мм/час	Осадки, мм	Средняя температура воздуха, град	Средний недостаток насыщения, мб	Средняя скорость ветра, м/сек
I5	2,2I	0,00	0,I2	-	0,26	-		3,4	0,7	I,0
I6	I,59	0,00	0,I4	-	0,26	-		7,4	I,I	0,9
I7	0,07	0,79	0,07	0,06	0,07	0,II		2,3	0,I	
I8	0,43	I,37	0,09	0,09	0,I3	0,26		-4,3	-0,3	
I9	0,4I	0,2I	0,08	0,0I	0,I3	0,I3		-3,5	-0,3	
Средн.	I,I8	0,70	0,I32	0,09I						

этот период составило 34 мм. Таким образом, конденсация и осадки способствовали накоплению влаги в почве в количестве I8 мм.

Согласно приведенной таблице, средняя величина испарения за сутки составляет I,I8 мм, средняя величина конденсации - 0,70 мм. За период наблюдений испарение и конденсация характеризуются следующими величинами: средняя интенсивность испарения равна 0,I3 мм/час, конденсации - 0,09 мм/час; максимальная интенсивность испарения достигает 0,52 мм/час, а конденсации - 0,39 мм/час.

Выводы

I. Почвенный гидравлический испаритель малой модели (ГПИ), оборудованный самописцами, позволяет с высокой точностью производить наблюдения за суточным ходом испарения и конденсации.

2. Записи вертикальных перемещений плавающей системы и уровня воды в бассейне ГПИ возможно использовать для определения суточного хода скорости ветра.

3. Результаты наблюдений показывают, что величины конденсации в осенний период в Сальских степях соизмеримы с величинами испарения.

ЛИТЕРАТУРА

I. Попов О.В.-Применение гидравлического почвенного испарителя в зоне недостаточного увлажнения. Труды ГГИ, вып. 57(III), I956.

2. Пушкарев В.Ф.-Изучение элементов водного баланса почвы с помощью гидравлических испарителей. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, том III. Гидрометеоиздат, 1959.
3. Руководство по производству наблюдений над испарением с сельскохозяйственных полей, часть I. Гидрометеоиздат, 1957.
4. Урываев В.А.-Гидрологические экспериментальные исследования на Валдае. Гидрометеоиздат, 1953.
5. Федоров С.Ф.-Опыт эксплуатации гидравлического почвенного испарителя малой модели (ГПИ-5I). Труды ГГИ, вып.45(99), 1954.

П.В. Тищенко, нач-к стоковой станции
(ДНИГЛ ГГИ , с. Дубовское, Ростовской обл.)

ПРИМЕНЕНИЕ ЛИЗИМЕТРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ В РАЙОНЕ НИЖНЕ-ДОНСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Определение испарения с территории, намечаемой под орошение и обводнение, имеет непосредственно практическое значение, поскольку позволяет установить характер изменения запасов влаги в грунте в зависимости от гидрометеорологических условий и предполагаемого режима орошения.

При орошении естественный уровень грунтовых вод резко нарушается. В большинстве случаев под влиянием магистральных, хозяйственных каналов и поливаемых площадей грунтовые воды поднимаются, а иногда выходят на дневную поверхность. Чем ближе к поверхности земли уровень грунтовых вод, тем больше влагонасыщение зоны аэрации и соответственно увеличивается расход влаги на испарение.

Поэтому большое научное и практическое значение имеют исследования испарения с сельскохозяйственных угодий при различной глубине залегания грунтовых вод. Для этой цели в районе Нижне-Донской оросительной системы сотрудниками Дубовской научно-исследовательской гидрологической лаборатории ГГИ построена лизиметрическая установка, оборудованная 7-ю испарителями-лизиметрами (по два лизиметра высотой 100, 120, 180 см и один - высотой 320 см), подъемником грузоподъемностью 1 т кругового вращения и весами грузоподъемностью 0,5 т, установленными в лизиметрическом павильоне.

В лизиметрах с двукратной повторностью поддерживаются постоянные уровни грунтовых вод на глубинах 50, 90, 140 см и в одном лизиметре на глубине 250 см.

Лизиметрическая установка имеет подземный павильон, представляющий собой подковообразное сооружение глубиной 3,2 м. Стены павильона кирпичные, перекрытие железобетонное. Так как лизиметры установлены за стеной павильона, то для каждого из них в павильоне устроена ниша, через которую проходит резиновый шланг, соединяющий испаритель - лизиметр с колбой (сообщающимся сосудом), находящейся в павильоне. Весы установлены в передней части павильона на бетонном основании. В полу павильона устроен колодец, в котором установлена крючковая рейка для измерения уровня грунтовых вод. В перекрытии павильона устроены 2 световых окна, одно

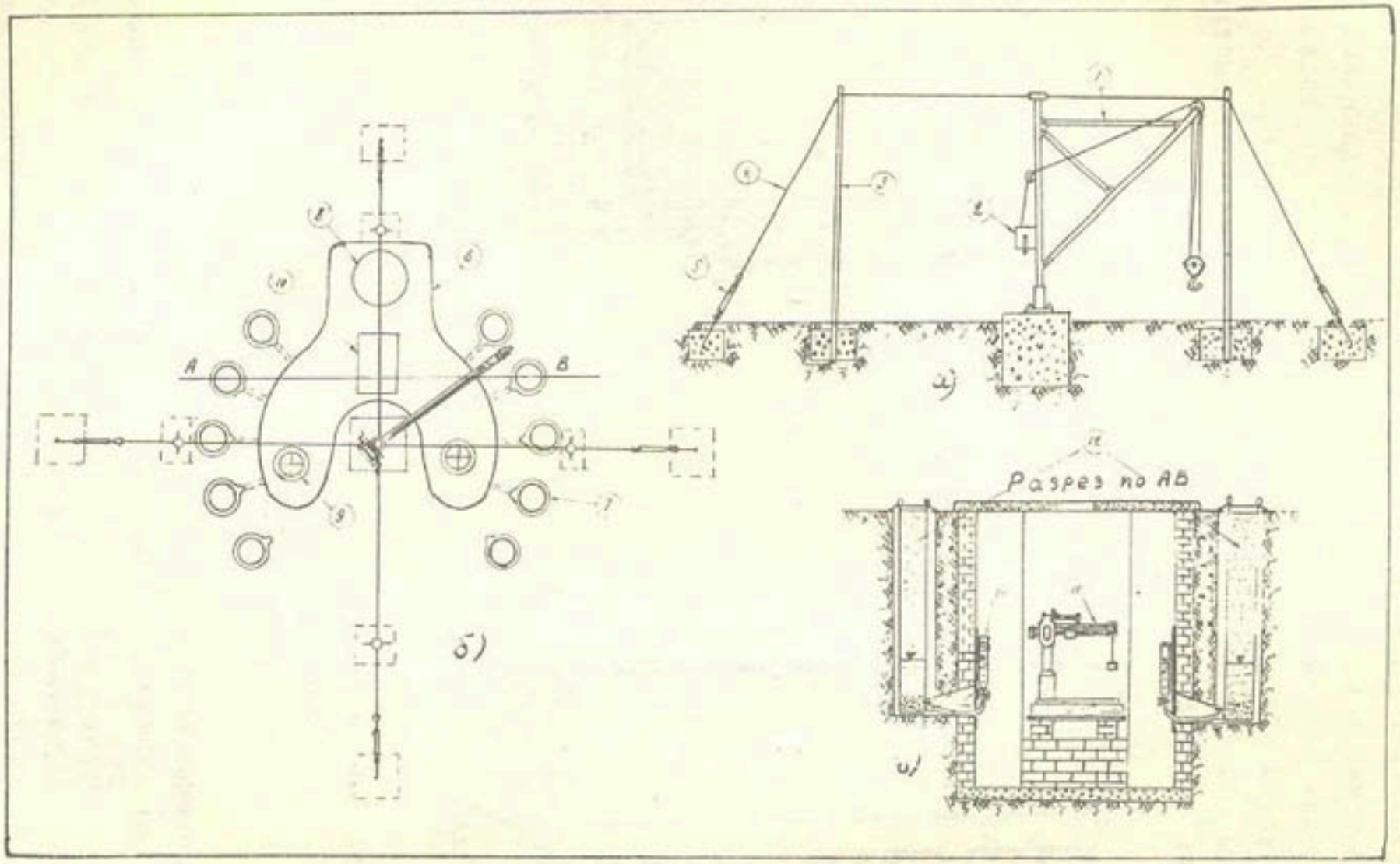


Рис. I. Схема устройства лизиметрического павильона и подъемника.

а) подъемник: I - подъемник, 2 - лебедка, 3 - мачты, 4 - оттяжки, 5 - талрепы;

б) вид на лизиметрический павильон сверху: 6 - лизиметрический павильон, 7 - лизиметры, 8 - весовой люк, 9 - световой люк, I0 - входной люк;

в) разрез по АВ: II - весы, I2 - лизиметры, I3 - сообщающиеся сосуды (колбы).

отверстие для опускания лизиметров на весы и входной люк.

Подъемник установлен на бетонном основании. Оттяжки, при помощи которых подъемник удерживается в вертикальном положении, одними концами крепятся к головке подъемника, затем перекидываются через мачты и другими концами крепятся к талрепам, соединенным с бетонными анкерами. Подъемник вращается на подшипнике,установленном на металлической пяте, покоящейся на бетонной подушке. Полиспаст подъемника состоит из 4 блоков. Схема устройства лизиметрической установки показана на рис. I.

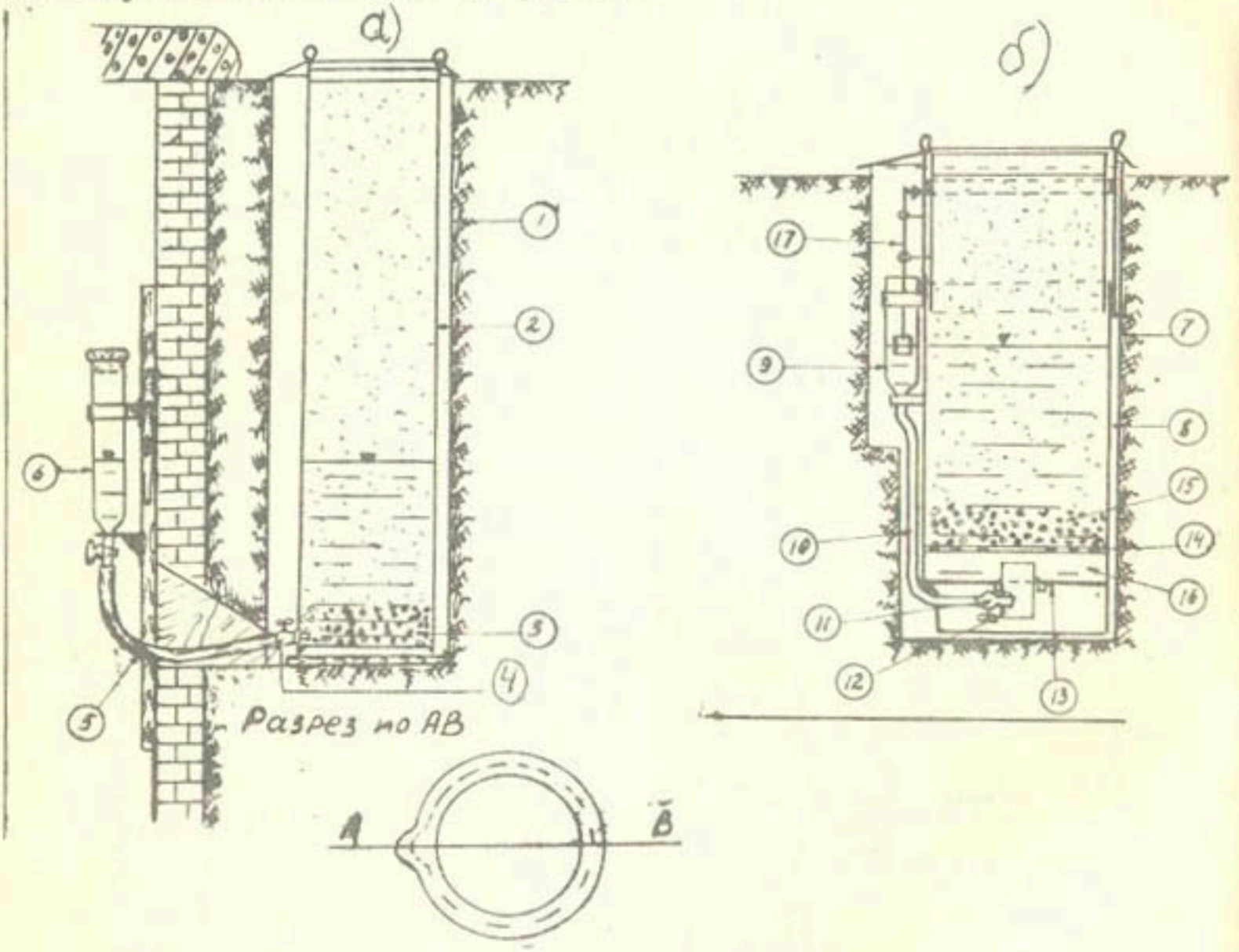


Рис. 2. Схема устройства лизиметров

а) лизиметр с подпитыванием из павильона:I - кожух лизиметра, 2 - лизиметр, 3 - обратный фильтр, 4 - кран, 5 - резиновый шланг, 6 - сообщающийся сосуд (колба).

б) лизиметр с подпитыванием снаружи:7 - кожух лизиметра, 8 - лизиметр, 9 - сообщающийся сосуд (колба), I0 - резиновый шланг, II - кран, I2 - патрубок, I3 - дно, I4 - сетчатое дно, I5 - обратный фильтр, I6 - водное пространство, I7 - указатель уровня воды.

Лизиметры изготовлены из металлических труб , внутренняя площадь поперечного сечения 745 $см^2$, толщина стенок 5 мм.Гнезда лизиметров изготовлены также из труб площадью 1000 $см^2$ и толщиной стенок 6 мм. Для прохода кранов лизиметров при подъеме их из гнезд в последних сделаны продольные накладки.

В верхней части лизиметра (рис. 2а) имеются две серьги, за которые он подвешивается к блоку подъемника. В нижней части к крану лизиметра крепится резиновый шланг, через который производится подпитывание лизиметра из сообщающегося сосуда (колбы).

Лизиметр с уровнем грунтовых вод 0,5 м (рис.2б)имеет следующее подпитывающее устройство: к лизиметру крепится колба, соединенная с краном резиновым шлангом. Кран ввинчен в металлический патрубок, который ввинчивается в гайку, приваренную к сплошному дну лизиметра.Патрубок выходит во внутрь лизиметра, образуя бортик высотой 5 см. Выше патрубка лизиметр имеет сетчатое дно, на которое уложен обратный фильтр.Пространство между сплошным и сетчатым донъями всегда заполнено водой. Над патрубком сетчатое дно не имеет дырочек, тем самым заиление крана исключается. Ил, который будет осаждаться вокруг патрубка на основном дне лизиметра, можно извлечь из водного пространства через отверстие в дне,вывинтив предварительно патрубок. Верхняя часть лизиметра (цилиндр высотой 40 см) в целях теплоизоляции почвенного монолита, помещенного в испаритель-лизиметр, изготовлена из дерева. Деревянная часть лизиметра соединяется с нижней металлической частью с помощью водонепроницаемого материала. Серьги лизиметра приварены к металлическому цилиндру, а в верхней части крепятся к обручу жесткости деревянного цилиндра. Для удобства долива воды в колбу, в верхней части, на внешней стенке лизиметра нанесена черта, которая соответствует уровню 0,50 м в лизиметре. Специальный указатель на металлическом стержне, прикрепленном к поплавку,фиксирует стояние уровня в лизиметре.

Зарядка лизиметров высотой до 180 см почвенными монолитами ненарушенной структуры не вызвала затруднений. При зарядке лизиметра высотой 320см возникли затруднения, заключающиеся в том, что монолит при вхождении его в лизиметр на высоту 2 м под собственным весом и весом самого лизиметра раздавливался. Поэтому зарядку пришлось производить раздельным способом. Сначала заряжался испаритель высотой 100 см, затем на этом месте, где заряжался указанный испаритель,устанавливали лизиметр высотой 320 см и заряжали его до высоты 215 см. После этого метровый монолит из испарителя высотой 100 см вставлялся в лизиметр сверху.

Методика наблюдений

На лизиметрической установке наблюдения проводились двумя методами: I) методом долива, 2) методом взвешивания. Методом долива наблюдения велись в 7.30, 9.30, II.30, I3.30, I5.30 и I9.30 час. Долив производился мензуркой, цена деления которой равна I $см^3$. Перевод долитой воды в высоту слоя производится путем деления объема долитой воды V на площадь лизиметра S :

$$h = \frac{V \cdot 10}{S} \text{ мм} .$$

Испарение методом долива определяется по формуле $E = h + x$, где E - испарение, h - количество долитой воды в мм, x- осадки.

Методом взвешивания наблюдения проводились каждого I0, 20 и 30 (3I) числа. Лизиметры взвешивались с точностью до I00 г.

Испарение методом взвешивания определяется по формуле:

$$E = h + 13{,}3\left(P_н - P_к\right) + x ,$$

где E - испарение в мм, h - слой долитой воды в мм, $P_н$ и $P_к$ - начальный и конечный веса монолита между сроками наблюдений в кг и x - осадки, выпавшие за период между сроками взвешивания. Метод долива дает надежную величину испарения за продолжительный период (за 3 месяца и более), за который величина изменения влагосодержания почвенного монолита по сравнению с общей величиной испарения незначительна и ею можно пренебречь.

Величины испарения за более короткие промежутки времени (декада, месяц) можно определять с помощью лизиметров лишь путем их взвешивания.

С помощью описанной лизиметрической установки получены ценные материалы, характеризующие влагопотребление сельскохозяйственных культур при различном уровне грунтовых вод.

В.Ф. Пушкарев, канд.физ.-мат.наук
(ГГИ, Ленинград)

СОСТОЯНИЕ И ПЛАН РАЗВИТИЯ НАБЛЮДЕНИЙ НАД ИСПАРЕНИЕМ С ПОЧВЫ

Начиная с 1951 г. на сети гидрометеорологических станций проводятся наблюдения над испарением с почвы по единой методике, разработанной ГГИ, с помощью стандартных весовых почвенных испарителей, площадью 500 $см^2$, высотой 50 и 100 см (ГГИ-500-50 и ГГИ-500-100) и гидравлических испарителей малой модели (ГПИ). Развитие этих наблюдений происходило главным образом в 1956-1958 гг. В 1956 г. наблюдения над испарением с почвы производились на 29 гидрометеорологических станциях, при этом наблюдения над испарением с полей, занятых сельскохозяйственными культурами, вели лишь 2 станции. В 1957 г. наблюдения над испарением проводились на 47 станциях, в том числе 10 станций вели наблюдения над суммарным испарением и транспирацией сельскохозяйственных культур. В 1959г. число гидрометеорологических станций, проводивших наблюдения над испарением с почвы, достигло 60; на 37 станциях велись наблюдения над испарением с сельскохозяйственных полей и транспирацией растений. В настоящее время (1961 г.) с помощью испарителей проводятся наблюдения над испарением с паровых полей или с целины, залежи и луга на 65 станциях, из них на 37 станциях проводятся также наблюдения над суммарным испарением и транспирацией сельскохозяйственных культур. Стационарными наблюдениями охвачены следующие культуры: озимая рожь, озимая пшеница, яровая пшеница, ячмень, овес.

Наибольшее число действующих пунктов наблюдений над испарением с почвы расположено в Европейской части СССР и на территории Казахстана.

Продолжительность (ряд лет) наблюдений над испарением с почвы на сети гидрометеорологических станций методом испарителей за период с 1951 по 1960 г. характеризуется следующими данными:

Число лет наблюдений	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число станций	65	56	47	28	26	25	25	8	5

В приведенных сведениях ни один ряд лет ни по одной станции не относится к одной какой-либо культуре; в каждом ряду охватываются различные виды поверхностей суши.

Заметим, что в 1957-1958 гг. на 13 гидрометеорологических станциях (Оленец, Зосены, Минск, Алексин, Каменная степь, Клепинино, Ги-

гант, Елшанка, Омск, Огурцово, Хомутово, Молотань, Беки-Бент) и в научно-исследовательских гидрологических лабораториях ГГИ проводились наблюдения над испарением с сельскохозяйственных полей одновременно двумя методами: почвенных испарителей и градиентных наблюдений [I]. Сопоставление результатов этих наблюдений показало следующее: во всех пунктах в большом числе случаев наблюдались отрицательные градиенты температуры и влажности воздуха, по которым практически невозможно рассчитывать испарение; величины испарения, рассчитанные градиентным методом, на всех станциях оказались сильно заниженными, с относительными ошибками от 35 до 150%. Ввиду того, что градиентный метод определения испарения с почвы не обеспечивает в условиях обычной сети станций получение надежных данных по испарению с почвы, с 1959 г. этот метод не используется на массовой сети гидрометеорологических станций.

В большом объеме проводятся исследования испарения с различных сельскохозяйственных полей на экспериментальных базах ГГИ. ВНИГЛ проводит наблюдения над испарением с почвы на почвенной испарительной площадке, расположенной на территории лаборатории, на водораздельном и пойменном участках в бассейне р. Полометь, на сельскохозяйственных полях Валдайского учебного хозяйства, на колхозных полях в районе д. Усадье. Значительные работы выполняются по изучению испарения в условиях леса. ДНИГЛ ведет наблюдения над испарением с сельскохозяйственных полей на почвенной испарительной площадке площадью около 8 га, расположенной на территории лаборатории, на сельскохозяйственных полях соседнего колхоза и на орошаемых полях в районе Нижне-Донской оросительной системы.

Большие комплексные гидрологические исследования и изучение испарения с почвы ГГИ осуществляет в Кустанайской области. Наблюдения над испарением с почвы на экспериментальных базах ГГИ и на сети гидрометеорологических станций сопровождаются наблюдениями за состоянием, развитием и ростом сельскохозяйственных культур, над влажностью почвы и метеорологическими элементами. В отдельных пунктах наблюдений над испарением с почвы ведутся также наблюдения над солнечной радиацией. В дальнейшем на всех специализированных станциях, проводящих научные исследования и наблюдения над испарением с почвы, необходимо расширить агрометеорологические и актинометрические наблюдения с тем, чтобы материалами наблюдений над испарением мог пользоваться более широкий круг работников сельскохозяйственного производства и исследователей разных направлений.

В ГГИ выполняется работа по составлению и подготовке к печати материалов наблюдений над испарением с сельскохозяйственных полей, полученных с помощью весовых почвенных испарителей ГГИ-500-50, ГГИ--500-100 и гидравлических испарителей на сети гидрометеорологических станций. Материалы этих наблюдений за 1951-1959 гг. уже составлены; издание их намечается осуществить одним выпуском. Материалы по испарению содержат измеренные, декадные и месячные величины суммарного испарения, испарения с почвы под растительным покровом и транспирации растений, величины суммарного испарения и транспирации сельскохозяйственных культур по фазам их развития и метеорологические данные: температура и влажность (абсолютная и относительная) воздуха, осадки, скорость ветра. Материалы сетевых наблюдений над испарением с почвы за 1960 г. и последующие годы предполагается издавать в виде ежегодников. Результаты наблюдений Валдайской и Дубовской научно-исследовательских гидрологических лабораторий ГГИ публикуются в ежегодниках этих лабораторий. Наряду с изданием упомянутых материалов по испарению имеется необходимость в том, чтобы другие ведомства и учреждения, занимающиеся исследованием испарения с поверхности суши, опубликовали все имеющиеся у них данные измерений испарения почвенной влаги и других элементов, которые могут быть использованы в расчетах испарения (элементы теплового баланса, градиенты метеорологических элементов и другие), а также данные лизиметрических наблюдений над испарением грунтовых вод.

Данные сетевых наблюдений над испарением с почвы, полученные с помощью испарителей, широко используются в расчетах водного баланса, стока, внутригодового распределения потерь почвенной влаги на испарение. Эти данные использованы в расчетах и при составлении режимных характеристик испарения и транспирации с сельскохозяйственных полей в зоне избыточного увлажнения, в лесостепной и степной зонах Европейской территории СССР, на территории Целинного края ; в разработках новых методов расчета испарения, в обработке материалов наблюдений над испарением, полученных на сети гидрометеорологических станций по программе МГГ, и других работах. За последние 9 лет в Трудах ГГИ и других изданиях опубликованы результаты более 45 научно-исследовательских работ, выполненных ГГИ с использованием данных наблюдений над испарением с почвы.

В последние годы значительно возросли запросы научных, проектных и хозяйственных организаций по изучению и расчету испарения с водосборов и отдельных территорий в районах промышленного и гидротехнического строительства, с пойменных и заболоченных земель, с орошаемых и неорошаемых сельскохозяйственных полей и с территорий

районов намечаемого орошения, обводнения и осушения. Для решения этих вопросов и улучшения гидрологического обеспечения сельскохозяйственного производства требуется развитие стационарных и экспедиционных исследований с различных поверхностей суши.

Необходимо осуществить развитие стационарных наблюдений над испарением с почвы с помощью почвенных испарителей и лизиметров в объеме, рекомендованном Ш Всесоюзным гидрологическим съездом, с организацией этих наблюдений во всех основных районах действующего и планируемого орошения и осушения земель.

Организация и производство наблюдений над испарением с поверхности суши на сети гидрометеорологических станций имеет целью:

I. Изучение пространственного и внутригодового распределения испарения на территории СССР для улучшения гидрологических и гидрогеологических расчетов.

2. Создание сети пунктов наблюдений над испарением с поверхности суши с целью получения данных непосредственных измерений испарения, необходимых для составления и уточнения водных балансов территорий.

3. Изучение суммарного испарения с сельскохозяйственных полей и транспирации растений в различных почвенно-климатических условиях для решения задач, связанных с размещением сельскохозяйственных культур и повышением урожайности.

4. Изучение испарения и транспирации сельскохозяйственных культур на орошаемых и осушаемых землях, в комплексе с другими исследованиями, направленными на решение задач, связанных с проблемой регулирования водного режима почвы и режима грунтовых вод.

5. Получение фактических данных по испарению, необходимых для решения вопросов, связанных с планированием, проектированием и проведением гидротехнических, мелиоративных и других водохозяйственных мероприятий.

6. Улучшение гидрологического и агрометеорологического обеспечения запросов сельскохозяйственного производства.

ГГИ разработал план развития наблюдений над испарением с поверхности суши на 1962-1965 гг., которым предусматривается доведение числа пунктов наблюдений над испарением с почвы до 260, в том числе в 50 пунктах намечается проводить круглогодичные наблюдения над испарением с почвы и снега.

В основу размещения пунктов наблюдений над испарением с почвы на территории СССР положены следующие принципы:

I. Наблюдения над испарением с почвы организуются в различных физико-географических районах с учетом почвенно-климатических, гидрогеологических и хозяйственных условий и в

первую очередь в районах проведения мелиоративных и других крупных водохозяйственных мероприятий.

2. Наблюдениями над испарением охватываются разные поверхности с изучением транспирации растений при естественном увлажнении почвы и орошении.

3. Наблюдения над испарением с почвы организуются, в первую очередь, на воднобалансовых, стоковых, теплобалансовых, болотных и крупных агрометеорологических станциях, а также на гидрометеорологических станциях, расположенных в районах действия гидрогеологических станций.

Стационарные наблюдения намечается проводить методом почвенных испарителей и лизиметров и, в отдельных пунктах, методом теплового баланса. По плану на 1962-1965 гг. на 30 гидрометеорологических станциях намечено установить гидравлические почвенные испарители малой модели (ГПИ). Размещение сети пунктов наблюдений над испарением с почвы, предусматриваемое планом на 1962-1965 гг., выполнено на фоне карты развития орошаемого земледелия и карт: "Агрометеорологическое районирование СССР" (Условия обеспеченности растений теплом и влагой), составленной Д.И. Шашко, и "Почвенно-географическое районирование СССР", составленной Почвенным институтом им. В.В. Докучаева и СОПС'ом.

Размещение действующей и вновь проектируемой сети пунктов наблюдений над испарением с почвы рассмотрено и согласовано с представителями Центрального института прогнозов. Размещение большей части этих пунктов наблюдений согласовано также с местными Управлениями гидрометслужбы.

Согласно плану, на конец 1965 г. намечается следующий состав сети пунктов наблюдений над испарением с поверхности суши.

Из числа действующих пунктов наблюдений над испарением с почвы сохраняется	63	пункта
Вновь проектируемые пункты:		
на болотных станциях	II	"
на теплобалансовых станциях	6	"
в районах орошения и осушения земель	75	"
на пойменных землях	21	"
на гидрометстанциях в других районах	84	"
Всего	260	пунктов

План развития сети пунктов наблюдений над испарением предполагается дополнительно обсудить с представителями ЦИП и ВСЕГИНГЕО, с целью его уточнения и исправления, с учетом решения настоящего совещания.

ЛИТЕРАТУРА

I. Руководство по производству наблюдений над испарением с сельскохозяйственных полей, ч. I – Наблюдения над испарением методом почвенных испарителей; ч. П - Наблюдения над испарением методом градиентных наблюдений. Гидрометеоиздат, Л., 1957.

ЖУРНАЛ ЗАСЕДАНИЙ МЕЖДУВЕДОМСТВЕННОГО СОВЕЩАНИЯ

З а с е д а н и е I а в г у с т а

Председатель - В.А. Урываев.
Секретари - М.Р. Бархатова и Т.Г. Федорова.
Присутствовало 90 человек.

I. В с т у п и т е л ь н о е с л о в о В.А. Урываева.

Одной из главных задач преобразования природы в интересах хозяйственной деятельности является преобразование баланса вод, осуществляемое в настоящее время в широких масштабах в пределах огромных речных систем, бассейнов отдельных рек, на сельскохозяйственных полях и осваиваемых землях в зонах недостатка и избытка влаги.

В решениях январского Пленума ЦК КПСС эта проблема нашла конкретное выражение в плане развития работ по обводнению, орошению и мелиорации болот, освоению пойменных земель, в мероприятиях по подъему общей культуры и эффективности сельского хозяйства.

В настоящее время любые гидротехнические мероприятия более или менее крупных масштабов являются комплексными и, помимо преобразований и регулирования стока в речных системах, обязательно захватывают и территорию суши в связи с преобразованиями водопотребления и водного баланса на пространствах речных бассейнов.

В системе гидротехнических мероприятий и мероприятий по охране вод огромное значение имеет вопрос о правильной оценке и

количественном определении потерь воды на испарение и связанных с этими потерями изменениях режима влаги в почво-грунтах как в естественных, так и преобразованных условиях.

В настоящее время большое число научных учреждений, опытных станций и проектных водохозяйственных организаций занимаются вопросами оценки, расчета и изучения режима испарения, поэтому нам казалось целесообразным созвать настоящее Междуведомственное совещание с целью обмена мнениями по этому вопросу, учитывая, что существуют разноречивые взгляды по отдельным аспектам этой большой и важной проблемы.

Следует отметить, что в текущем году по решению Правительства подготовлен проект Плана развития изучения водных ресурсов на территории нашей страны на ближайшие 20 лет. В этом плане уделено большое внимание проблеме испарения, и нам казалось необходимым использовать при окончательной обработке этого плана рекомендации настоящего совещания и учесть таким образом мнения специалистов, работающих в этой области.

Задачей совещания является, с нашей точки зрения, обмен опытом и некоторыми результатами научных исследований и работ, выполняемых в этой области различными учреждениями, с целью взаимного использования этого опыта и координации работ по данной проблеме на будущее. Хотелось бы особо подчеркнуть необходимость рассмотрения здесь вопросов методики измерений и оценки величин испарения и в результате обмена мнениями наметить предложения и рекомендации для дальнейшего развития работ в области изучения испарения, а также основные принципы по развитию сети пунктов стационарных наблюдений. Такой обмен мнениями участников и специалистов этого дела должен способствовать развитию этой большой и важной области гидрологии, развитию натурных наблюдений, экспериментальных исследований и накоплению фактов из природы, в чем у нас еще имеется большое отставание.

Мы хотели также воспользоваться случаем, чтобы поделиться опытом работ, накопленным Валдайской научно-исследовательской гидрологической лабораторией в этой области ее деятельности, и получить от ученых и специалистов, присутствующих здесь, замечания и советы для использования их в дальнейшей работе.

2. О б с у ж д е н и е о р г а н и з а ц и о н н ы х в о п р о с о в. Принимается программа и порядок работы совещания.

3. Д о к л а д ы.

<u>В.Ф. Пушкарев</u>, канд. физ.-мат. наук (ГГИ, Ленинград). Основные вопросы проблемы изучения испарения с поверхности суши.

А. С. Конторщиков, канд. геогр. наук (ЦИП , Москва). О методах расчета испарения и запасов почвенной влаги при агрометеорологическом обслуживании сельскохозяйственного производства.

А. И. Будаговский, канд. техн. наук (Ин-т географии АН СССР, Москва). Исследование процесса испарения.

А. Р. Константинов, канд. физ.-мат. наук (УкрНИГМИ, Киев). Методика расчета суточного и сезонного хода испарения по сетевым метеорологическим данным и результаты ее проверки.

4. О т в е т ы н а в о п р о с ы.

В. Ф. Пушкарев (на вопросы К.И. Смирнова, Б.И. Куделина , К.Г. Ганиева).

В настоящее время Отдел гидрофизики ГГИ пришел к выводу о необходимости внедрения на сети станций испарителей разных размеров. Испарители площадью 500 см^2 непригодны для измерения испарения с полей, занятых картофелем, кукурузой,подсолнечником и некоторыми другими культурами,т.к.его размеры для этих культур недостаточны.

Размеры испарителей и лизиметров должны определяться мощностью корневой системы изучаемых сельскохозяйственных культур.

Взвешивание лизиметров (компенсационных испарителей) на экспериментальных базах ГГИ производится один раз в декаду. Испарение по лизиметрам можно определять и путем долива, но этот способ менее точен. По данным ВНИГЛ отклонения сезонных величин испарения,полученных методом долива,составляют 8-39% от величин,полученных путем взвешивания,а отклонения месячных величин достигают 58%.В 1960 г.в пойме р.Полометь велись наблюдения с поверхности заливного и заболоченного луга, с открытой водной поверхности и с поверхности,занятой водной растительностью, а также с суходольного луга на водоразделе. Величины испарения за июнь-сентябрь 1960 г. составили: с заливного луга-306 мм, суходольного луга-156 мм, заболоченного луга-347 мм, открытой водной поверхности - 288 мм и с водной поверхности, занятой полупогруженной водной растительностью, - 622 мм.

Транспирация определяется как разность между суммарным испарением и испарением с почвы под растительным покровом.

Метод А.А. Скворцова при пересеченной местности, в горных условиях,не может дать удовлетворительных результатов.

А.С. Конторщиков (на вопросы К.Е. Иванова, П.П. Кузьмина , И.С. Шпака, Ф.М. Рахимбаева).

Предложенные графики применимы, хотя может быть и с мень-

шей точностью, и для зоны избыточного увлажнения. Удовлетворительные результаты, которые получаются для этой зоны, можно объяснить тем, что сельскохозяйственные поля расположены не на болотах, и уровень грунтовых вод на них стоит ниже, чем на остальной территории.

Сравнения результатов, получаемых с помощью представленных графиков и метода А.Р. Константинова, не производилось. Мы не можем прогнозировать влажность воздуха, поэтому для прогноза агрометеорологических условий метод А.Р. Константинова непригоден. Для оценки сложившихся агрометеорологических условий по данным наблюдений метод А.Р. Константинова может оказаться точнее.

При построении графиков связи испарение вычислялось по упрощенному методу водного баланса. Данными испарителей мы не пользовались. Структура и вид зависимостей напоминают графики Б.В.Полякова, которые были широко апробированы.

Так как исходными данными для расчетов по графикам являются начальные влагозапасы почвы, то имеется косвенный учет уровня грунтовых вод, при высоком стоянии которых будет высокая влажность почвы и, следовательно, повышенное испарение.

А. И. Будаговский (на вопросы А.С. Конторщикова, К.Е. Иванова, П.П. Кузьмина, С.В. Анарбаева, Д.И. Шашко, В.В. Романова).

При частом выпадении дождей испарение воды почвой, лишенной растительного покрова (при недостаточном увлажнении), существенно возрастает. При сомкнутом растительном покрове влияние осадков на увеличение испарения сказывается лишь при недостаточном увлажнении почвы.

Величина испаряемости определялась в результате совместного решения уравнений теплового баланса испаряющей поверхности, теплообмена и влагообмена испаряющей поверхности с атмосферой и формулой Магнуса.

Представлять испарение с суши как произведение $E_0 \cdot \varphi(d)$, где E_0 - испаряемость, на первых этапах исследований целесообразно. Более детальный анализ показывает, что испарение пропорционально испаряемости почти всегда, хотя форма зависимости существенно усложняется. Приближенно испаряемость можно определить по эмпирическим зависимостям с использованием данных о дефиците влажности воздуха. Испарение с водной поверхности не всегда отражает испаряемость. Для каждого вида испаряющей поверхности величина испаряемости будет различной.

Глубина залегания грунтовых вод при отсутствии на почве растительного покрова оказывает существенное влияние на скорость вос-

ходящего движения влаги, а следовательно, и на испарение. На величину транспирации глубина залегания грунтовых вод оказывает косвенное влияние, т.к. с ней связана влажность корнеобитаемой зоны почвы, от которой зависит транспирация. На засоленных почвах влажность завядания повышенная, растения становятся более угнетенными, а испарение снижается. При известной степени засоления величину снижения испарения можно учесть.

Водяной пар движется к поверхности почвы потому, что его упругость на нижней границе пересыхающего слоя больше, чем на поверхности почвы.

Для расчета испарения по предложенным мною зависимостям необходимо располагать данными по радиационному балансу, теплообмену в почве, температуре и влажности воздуха, влажности почвы и биологической кривой испарения.

А. Р. Константинов (на вопросы Д.И. Шашко.)

Расчетный график выражает величины испарения с той поверхности суши, над которой произведено измерение температуры и влажности воздуха. Обычно определяется величина испарения, характерная для района расположения данной метеостанции.

Редукционные коэффициенты определялись как отношение испарения с бассейна 20 м^2 к испарению с испарителя ГГИ-3000.

5. Обсуждение докладов В. Ф. Пушкарева, А. С. Конторщикова, А. И. Будаговского и А. Р. Константинова.

Б. И. Куделин (МГУ, Москва).

Необходимо отметить своевременность данного совещания, созванного по инициативе ГГИ, т.к. вопросы испарения интересуют очень широкий круг ученых и инженеров, причем не только гидрологов, а и почвоведов и гидрогеологов.

Многие задачи, которые стоят, например, перед гидрогеологами, в частности, в области изучения ресурсов подземных вод, не могут решаться без достаточно надежных данных по испарению. Эти данные особенно необходимы при разработке генеральной схемы водоснабжения СССР, о чем было упомянуто во вступительном слове В.А. Урываева.

Из краткого обзора методов определения испарения, приведенного в докладе В.Ф. Пушкарева, можно сделать заключение, что в настоящее время имеются хорошие методы расчета. Поэтому уже можно поставить задачу построения карты испарения с поверхности суши для всей территории Советского Союза. Без такой карты нельзя решать вопросы, связанные с изучением водного баланса ресурсов подземных вод.

Для решения водохозяйственных задач и расчета водного баланса поверхностных и подземных вод совершенно необходимо иметь средние многолетние величины годового суммарного испарения.

К сожалению, в повестке дня совещания нет доклада о расчете норм испарения и,что особенно важно,норм испарения для достаточно больших речных бассейнов, что дало бы возможность перейти к построению карты испарения для всей территории Советского Союза. Существующие карты норм испарения, построенные Кузиным и Троицким на основе уравнения:

$$Z_o = X_o - Y_o , \qquad (1)$$

где X_o - норма осадков, Y_o - норма речного стока и Z_o - норма испарения, еще не могут считаться достаточно точными. Уравнение водного баланса (I) основано на том, что все осадки,которые выпадают на площади речного бассейна, расходуются в пределах того же бассейна на сток и испарение, однако это не всегда справедливо, т.к. не учитывается геологическая структура речных бассейнов.

Если бы уравнение (I) было справедливо для каждого речного бассейна, тогда не оставалось бы никакой доли атмосферных осадков для питания глубинных артезианских вод, которые давно бы иссякли.

С учетом геологических структур и гидрогеологических условий речных бассейнов следует руководствоваться следующими уравнениями водного баланса:

а) для области питания артезианских бассейнов

$$X_o = Y_o + Z_o + J_o , \qquad (2)$$

где J_o - норма глубокой инфильтрации на питание артезианских вод;

б) для области разгрузки артезианских бассейнов

$$X_o = Y_o + Z_o - U_o , \qquad (3)$$

где U_o - артезианский сток.

Уравнение (I) справедливо лишь для области напора.

В общем виде уравнение среднего многолетнего водного баланса с учетом гидрогеологического строения речных бассейнов будет иметь вид:

$$X_o = Y_o + Z_o \pm W_o . \qquad (4)$$

Величина W_o для некоторых артезианских бассейнов в соответствии с гидрогеологическими данными достаточно велика и должна входить в уравнение водного баланса. Поэтому уравнение (1) не

может служить эталоном для проверки правильности того или иного метода расчета испарения.

Исследователи, которые вводят поправочные коэффициенты в результаты, полученные различными методами, с целью добиться совпадения с величиной, рассчитанной по уравнению (I), поступают неправильно.

По некоторым структурам глубокий артезианский подземный сток, не дренируемый речными бассейнами, составляет десятки миллиметров в год и величины Z_o, рассчитанные по уравнению (I), будут содержать ошибку, равную величине артезианского стока, в сторону преувеличения для областей питания и в сторону уменьшения - для области разгрузки артезианского бассейна.

Исходя из вышеизложенного, нам кажется, следует попытаться составить карту норм испарения для территории Советского Союза, опираясь на существующие расчетные методы, независимо от использования уравнения водного баланса. Мне хотелось, чтобы участники совещания в своих выступлениях выразили свое мнение по этому вопросу.

6. Выборы редакционной комиссии. Для подготовки проекта решения избирается редакционная комиссия в следующем составе: Б.И. Куделин (МГУ, Москва), К.Е. Иванов (ГГИ, Ленинград), Д.М. Кац (ВСЕГИНГЕО, Москва), А.С. Конторщиков (ЦИП, Москва), А.Р. Константинов (УкрНИГМИ, Киев), В.И.Кузнецов (ВНИГЛ, Валдай) и В.Ф. Пушкарев (ГГИ, Ленинград).

Заседание 2 августа

Председатель - В.И. Кузнецов.
Секретари - М.Р. Бархатова и Т.Г. Федорова.
Присутствовало 90 человек.

I. Обсуждение докладов В.Ф. Пушкарева, А.С. Конторщикова, А.И. Будаговского и А. Р. Константинова (продолжение).

В.В. Романов (ГГИ, Ленинград).

А.И. Будаговский в своем докладе поставил проблему разработки теории процесса испарения. При этом он исходит из совершенно правильных положений - из необходимости совместного решения уравнений водного и теплового баланса, совместного решения термо- и влагопроводности почвы и ряда других положений. Обратим внимание на вопросы о диффузии пара через пересыхающий слой о коэффициенте турбулентного обмена в воздухе.

В обычных условиях, во всяком случае в зоне избыточного увлажнения, мы практически почти никогда не имеем случая, чтобы поверхностный слой пересыхал до влажности ниже максимальной гигроскопичности. Градиент давления пара в этом слое полностью определяется градиентом температуры почвы. В дневное время, когда идет процесс испарения, температурный градиент направлен вниз и, соответственно, градиент давления также направлен вниз; т.е. диффузия пара должна идти от поверхности вниз, а не вверх, в атмосферу. Здесь, очевидно, происходит не нормальный процесс диффузии пара, подчиняющийся уравнению Фика, а иной процесс. В этом случае применение уравнения, основанного на законе диффузии, вызывает появление ошибок в один или два порядка, т.е. в 10 или 100 раз. Коэффициент турбулентного обмена выражается $K = \lambda U$.

По мнению А.И. Будаговского, величина λ достаточно стабильна. На мой взгляд, это неверно. Коэффициент обмена зависит от очень многих факторов и величина λ в уравнении коэффициента обмена далеко не стабильна. Поэтому было бы целесообразно не пытаться в настоящее время сразу решать задачу до конца, как это делает А.И. Будаговский, а исследовать роль главных факторов и на основе использования полученных закономерностей уточнить влияние остальных, второстепенных факторов.

Л. И. Зубенок (ГГО, Ленинград).

Наблюдения над испарением с суши с помощью испарителей ведутся в ограниченном числе пунктов, а метод водного баланса не является универсальным из-за отсутствия надежных измерений речного стока для значительной территории суши. Поэтому для исследования закономерностей распределения испарения на больших территориях, в масштабах континентов, широко используются расчетные методы, связывающие величины испарения с гидрометеорологическими элементами, наблюдаемыми на сети метеорологических и гидрологических станций.

В настоящее время в ГГО закончено построение годовой и месячных карт испарения с суши для всего земного шара. Для расчетов месячных величин испарения применялась методика, разработанная М.И. Будыко и основанная на совместном решении уравнений водного и теплового баланса, с использованием данных о влажности почвы. Предполагалось, что

$$z = z_0 \quad \text{при} \quad W \geq W_0, \quad (1)$$

и

$$z = z_0 \quad \text{при} \quad W < W_0, \quad (2)$$

где z - испарение, z_0 - испаряемость, W - количество продук-

тивной влаги в активном слое почвы, W_o - критическое значение влажности почвы, при котором испарение (E) становится равным испаряемости (E_0).

Значения W_o для верхнего метрового слоя почвы обычно изменяются от 10 до 20 мм в зависимости от географических условий и времени года и были получены в результате обработки материалов по водному балансу почвы.

Испаряемость считалась пропорциональной дефициту влажности воздуха, определяемому по температуре подстилающей поверхности. Так как для большинства районов данных о влажности почвы не имеется, для расчета месячных величин испарения по формуле (2) использовалось уравнение водного баланса:

$$z = E + f + \Delta W, \qquad (3)$$

где z - осадки, ΔW - изменение влагосодержания активного слоя почвы, f - суммарный сток за рассматриваемый период.

Поскольку суммарный сток для каждого месяца обычно не определяется из данных наблюдений, он рассчитывался по формулам, предложенным М.И. Будыко.

Для условий недостаточного увлажнения, когда месячные величины испаряемости больше осадков ($E_o > z$), суммарный сток принят равным

$$f = \alpha z \frac{W}{W_k}. \qquad (4)$$

Коэффициент пропорциональности α - безразмерная величина, зависящая от интенсивности осадков,-определялся методом подбора для районов с хорошо изученной нормой стока путем сравнения расчетной величины годового стока с соответствующей величиной, полученной из данных наблюдений. Для районов, где материалы по норме стока ненадежны, α определялся методом аналогии. Значение коэффициента α принималось равным 0,2 выше 45^0 северной и южной широты и 0,4 - 0,8 - для широт ниже 45^0 в зависимости от условий увлажнения.

Для условий избыточного увлажнения, когда месячные величины осадков больше испаряемости ($z > E_o$), суммарный сток принимался равным

$$f = z \frac{W}{W_k} \sqrt{\alpha^2 \left[1 - \left(-\frac{E_o}{z}\right)^2\right] + \left(1 - \frac{E_o}{z}\right)^2}, \qquad (5)$$

т.е. устанавливалась зависимость стока от осадков, влагозапасов почвы, разности ($z - E_o$) и интенсивности выпадения осадков.

Рассчитанные величины испарения, полученные по изложенной методике, сопоставлялись с данными, вычисленными по уравнению водного баланса как разность: осадки минус сток. Сопоставление прово-

дилось для 90 различных районов земного шара. Среднее расхождение величин испарения, полученных обоими способами, составило около 5%.

Для территорий СССР с условиями недостаточного увлажнения сопоставлялись месячные величины испарения с суммой $Z + \Delta W$ для 31 пункта наблюдений, в которых имелись данные по влажности почвы. Здесь ΔW - изменение влагосодержания в верхнем метровом слое почвы. Средняя величина расхождения месячных данных составила 15%.

В среднем удовлетворительное согласование данных по испарению, полученных двумя независимыми способами, свидетельствует о достаточной надежности предложенной методики расчета испарения.

К.Е. Иванов (ГГИ, Ленинград).

Одной из важных задач совещания является обсуждение методов измерения испарения и применения их в различных условиях для того, чтобы иметь возможность в ближайшие годы накопить массовые материалы по испарению с естественных и преобразованных угодий, в том числе с орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных полей. Эта задача до настоящего времени решается неудовлетворительно, т.к.число пунктов наблюдений над испарением с суши на территории СССР недостаточно.

В ближайшие годы на территории Советского Союза в широком масштабе будут осуществляться работы по орошению, а также по осушению избыточно увлажненных земель, в связи с чем вопрос о применимости тех или иных методов в этих условиях имеет большое значение и должен найти отражение в решениях совещания.

Для реперных точек на сети станций СССР следует, по-видимому, применять для исследования испарения параллельно 2-3 метода, и в первую очередь метод весовых испарителей и полного теплового баланса.

Необходимо исследовать вопрос о наиболее приемлемом методе определения испарения в условиях затопляемых речных пойм.

Следует поддержать выступление Б.И. Куделина о необходимости составления карты испарения с суши для территории СССР. При составлении такой карты необходимо, очевидно, использовать совместно 2-3 метода, чтобы получить независимыми путями достаточно надежные данные.

Необходимо усовершенствовать существующие методы с целью определения испарения в горных условиях.

Карты, составленные в ГГО, хотя и являются весьма ценными, но они не обладают достаточной детализацией. Наряду с картой водобалансового типа по испарению с крупных речных бассейнов нужно

работать над составлением карт испарения с отдельных угодий и сельскохозяйственных полей. Пути составления таких карт еще недостаточно ясны.

В настоящее время в недостаточной мере ведутся физические исследования процессов испарения, главным образом, в области увязки между процессами на испаряющей поверхности, в атмосфере и влагообменом в почво-грунтах, особенно в зоне аэрации. Нужно подчеркнуть в решениях совещания об усилении этих исследований как в полевых, так и в лабораторных условиях.

2. Заключительное слово докладчиков

<u>В.Ф. Пушкарев</u> (ГГИ). По данным гидрометстанций, проводивших наблюдения над испарением по программе МГГ, расхождения между измеренными величинами и вычисленными по методу водного баланса за периоды 5-8 месяцев составляют 13% для верхнего полуметрового слоя почвы и 10% - для метрового слоя.

Графики для расчета испарения, предложенные ЦИП'ом, являются более совершенными, чем графики Б.В. Полякова. Однако следует рекомендовать ЦИПу использовать в агрометеорологических расчетах метод А.Р. Константинова в тех случаях, когда не вызывает сомнения репрезентативность метеорологических площадок, а также данные непосредственных измерений испарения с помощью испарителей.

Следует с осторожностью относиться к распространению гамма-лучевого метода в степных, пустынных и других районах, т.к. этот метод при малых влагозапасах почвы менее точен, чем буровой.

Метод расчета испарения М.И. Будыко не обеспечивает получения более точных результатов, чем метод водного баланса, т.к. при этом не учитывается просачивание влаги в глубокие слои почво-грунтов, а также возникают значительные трудности определения критической влажности, которая зависит от большого числа факторов.

<u>А.С. Конторщиков</u> (ЦИП). Использование данных измерений испарения по испарителям в агрометеорологической практике - одна из основных задач по внедрению результатов наблюдений. В настоящее время разрабатываются пути решения этого вопроса.

Метод А.Р. Константинова может, вероятно, дать хорошие результаты, но его надо широко проверить. Так как исходными данными для расчета являются температура и влажность воздуха, измере-

ные на высоте 2 м, которые мало изменяются над различными сельскохозяйственными полями, то с помощью этого метода трудно установить различие в испарении с этих полей, хотя такие различия могут быть существенными. Кроме того, при одних и тех же значениях температуры и влажности воздуха, но при различном увлажнении почвы испарение будет неодинаковым. Использование гамма-метода для определения влажности почвы облегчается в настоящее время тем, что конструкция прибора существенно улучшена - уменьшена сила источника, увеличена устойчивость работы прибора.

А.И. Будаговский (Ин-т географии АН СССР).

Отвечая В.В. Романову, необходимо указать, что следует начинать разработку теории с общей схемы процесса и по мере ее уточнения и развития определить роль и место каждого фактора в этом процессе.

Если бы в зоне достаточного увлажнения влажность почвы не уменьшалась ниже максимальной гигроскопичности, то испарение с ее поверхности было бы очень близко к испаряемости. Однако в бездождные периоды испарение с поверхности пара значительно ниже и составляет 20-30%, а в лучшем случае 40% от испаряемости. Мощность просохшего слоя обычно не превышает нескольких сантиметров. Если она составит 4-5 см, то испарение не будет превышать 10-15% от испаряемости.

Лабораторными исследованиями установлено, что коэффициент диффузии водяного пара в почве отличается от аналогичного коэффициента в воздухе не в 10-100 раз, а только в 1,5 раза. Отсутствие полного совпадения этих коэффициентов объясняется тем, что часть пор в почве замкнута.

При определении коэффициента λ в зависимости $D = \lambda U$ принимались случаи достаточного увлажнения почвы, при которых температурная стратификация не очень существенно отличается от равновесной.

А.Р. Константинов (УкрНИГМИ)

В результате обобщения наблюдений над испарением, которое ведется с 1951 г. сотрудниками ГГИ, ВНИГЛ и других учреждений, подробно освещен вопрос о зависимости интенсивности испарения с различных сельскохозяйственных культур от уровня грунтовых вод, влажности почвы и метеорологических условий. На основании экспериментальных данных построены биологические кривые водопотребления при различных условиях погоды для овса, озимой ржи, кукурузы и других культур. Эти данные могут быть использованы при производстве сельскохозяйственных работ в условиях орошаемого земледелия.

Графики, составленные в ЦИП'е, охватывают достаточный диапазон метеорологических условий и составлены хорошо, однако в связи с выявившейся в последнее время неточностью измерения осадков они дают значительно заниженные величины испарения (на 15-20 %). Это обстоятельство необходимо учитывать. Следует пожелать, чтобы в этих расчетах использовалась влажность воздуха, которая более точно, чем осадки,соответствует процессу испарения.

Схема, предложенная М.И. Будыко, физически обоснована, но ее практическое использование затруднено, т.к. испаряемость, которая входит в расчет, определяется коэффициентом внешней диффузии, являющимся крайне неопределенной величиной. В этом коэффициенте скрыты все сложные метеорологические процессы. Вторая трудность при использовании этой схемы заключается в необходимости учета суммарного стока, месячные величины которого, полученные путем непосредственных измерений,не соответствуют месячному поступлению осадков и расходу воды на испарение.

Для проверки расчетной схемы, основанной на использовании данных о температуре и влажности воздуха, в горных условиях нет достаточных экспериментальных данных. Расчет испарения по этой схеме для условий Карпат, выполненный А.Я. Рыбкиной, показал хорошую согласованность величин испарения, полученных по данной схеме и методом водного баланса.

3. Доклады.

М.А. Каганов, канд.физ.-мат. наук (АФИ, Ленинград).
Методика градиентных измерений при оценке испарения с деятельной поверхности.

Е.А. Цубербиллер, канд.с.-х. наук , Г.В. Белухина, мл.научн.сотр. (ЦИП, Москва).
О результатах исследования испарения с сельскохозяйственных полей методом А.А. Скворцова. Докладывает Е. А. Цубербиллер.

Ю.Л. Розенштох, канд.техн.наук (АФИ, Ленинград).
Автоматическое измерение испарения по методу теплового баланса.

С.Ф. Федоров, канд.техн.наук (ВНИГЛ, Валдай). Некоторые результаты изучения испарения в условиях леса.

С.А. Анарбаев, Ф.М. Рахимбаев, С.Б. Строкович, инженеры (Узбекский гидрогеологический трест, Ташкент).
О методах изучения испарения и транспирации, применяемых на гидрогеологических станциях Главгеологии Узбекской ССР. Докладывает Ф. М. Рахимбаев.

4. О т в е т ы н а в о п р о с ы.

Е.А. Цубербиллер (на вопросы Е.Г. Ганиева, В.В. Романова, В.И. Кузнецова, А.Р. Константинова, Д.И. Шашко).

Влияние ветра неодинаково при различной влажности почвы. При большом увлажнении на орошаемых полях в жаркую погоду при сильном ветре вводить ветровые поправки в расчетную формулу не требуется. При малых запасах влаги в почве и скорости ветра на верхней границе растений 3 м/сек и более поправка на ветер вводится, так как в этом случае количество водяного пара в ярусе получается по расчетной формуле заниженным по сравнению с данными теплового и водного баланса. В дни со слабо развитой конвекцией наблюдения также недостаточно точны.

Мощность яруса принимается равной 2 м, а для таких сельскохозяйственных культур, как кукуруза, высоту яруса нужно принимать большей.

Пока не установлена зависимость испарения от агрометеорологических условий наблюдения следует проводить ежедневно, а после установления таких зависимостей - при характерных типах погоды.

С.Ф. Федоров (на вопросы В.В. Романова и Д.М. Каца).

При подсчете величин теплоаккумуляции древостоя от их крон до поверхности почвы использовались градиенты температур между уровнем деятельного слоя поверхности и двухметровым уровнем под пологом леса. Определялась кубатура зеленой массы на площади I га и выражалась в виде слоя.

Величины инфильтрации в условиях леса больше, чем в поле на 35-40 мм за год.

Нельзя согласиться с мнением, что лес всегда испаряет больше, чем поле. При определенных условиях в отдельные очень влажные годы лес может испарять и несколько меньше, чем поле, занятое сельскохозяйственными культурами.

Ф.М. Рахимбаев (на вопросы А.И. Будаговского, Е.А. Цубербиллер, А.А. Роде, А.Р. Константинова, В.В. Романова, О.В. Попова).

Наблюдения по лизиметрам производятся круглый год, в том числе и зимой, как на орошаемых полях, так и на неорошаемых участках. Влажность почвы определялась с помощью гамма-метода. Осадки в пунктах наблюдений составляют 150-300 мм в год. Во время выпадения осадков лизиметры не закрывались.

Параллельно с наблюдениями по лизиметрам была сделана попытка применить метод А.А. Скворцова, однако в результате боль-

ших отклонений в величинах испарения, полученных этим методом , от применения его мы отказались.

В период интенсивного полива расход грунтовых вод на испарение уменьшается; в это время испарение происходит за счет поливных вод.

С помощью кривых испарения, полученных по лизиметрическим наблюдениям, подсчитываются средневзвешенные величины испарения с сельскохозяйственных полей.

5. Обсуждение докладов М. А. Кагановa, Е. А. Цубербиллер, Д.Л. Розенштока, С.Ф. Федорова и Ф. М. Рахимбаева.

Д.И.Шашко (СОПС, Москва).

Испарение и транспирация представляют собой весьма сложное, взаимообусловленное явление. Сложность заключается в том, что величины транспирации и суммарного испарения определяются влиянием многих факторов (метеорологические и почвенные условия, вид и количество удобрений, вид и сорт возделываемой культуры, возраст растений, величина урожая и другие).

Величины испарения и транспирации следует рассматривать как интегральный показатель взаимодействия растительных организмов со всеми факторами окружающей среды. Чем благоприятнее эти факторы, тем мощнее растительный покров и тем выше транспирация. Практически важно определять не только климатические средние величины испарения, но и величины с конкретных испаряющих поверхностей. При этом нужно строго учитывать свойства испаряющей поверхности (нарастание органического вещества, конечный урожай , увлажненность почвы и др.), т.к. без такого учета часто получаем абстрактные величины, которые не всегда можно практически использовать.

Учет испарения по методу, разработанному А.С. Конторщиковым, дает хорошие результаты, т.к. им косвенно учитывается состояние растительного покрова. Но этот метод не предусматривает прямой связи испарения с растительной массой, что затрудняет агроклиматический анализ условий роста растений. Это же относится к методам А.Р. Константинова, А.И. Будаговского, М.И. Будыко и др.

А.А. Молчанов (Лаборатория лесоведения, Москва).

Исследования, которые проводятся ВНИГЛ ГГИ в логу Таежном по изучению испарения методом теплового баланса, чрезвычайно

важны в методическом отношении. Данные об испарении с леса, полученные при выполнении этих исследований,оказываются весьма близкими к данным для других, находящихся в сходных физико-географических условиях, районов нашей страны.

При наличии солидной экспериментальной градиентной установки нельзя ограничиваться хотя и глубоким изучением, но только физической стороны процесса испарения. Необходимо организовать комплексный подход к этим исследованиям с учетом биологических, физических и почвенных аспектов этой проблемы.

Лес разного характера испаряет различное количество влаги, аналогично тому, как и в поле испарение и транспирация сельскохозяйственных культур в различные фазы их развития неодинаковы . Строение и состав леса весьма сложны, поэтому расход влаги с разных участков леса также различный.

Желательно было бы установить более тесную зависимость между величинами, определяемыми методами теплового и водного баланса, т.к. последний дает неплохие результаты за длительные периоды.

Воднобалансовым методом недостаточно точно определяется расход влаги на транспирацию, т.к. плохо учитывается просачивание воды вглубь почвы.

Для учета просачивания Лаборатория лесоведения строит специальные инфильтрационные площадки, оконтуриваемые водонепроницаемыми стенками и дном из плексигласа. Глубина таких площадок 2-4 м. Просочившаяся через почвенный монолит вода собирается в специальном сосуде. Учитывая точно величину просачивания стока воды по стволам деревьев и суммарное испарение, можно достаточно надежно определить расход влаги на транспирацию.

Известен и другой путь определения транспирации - метод срезки и быстрого взвешивания. Однако при малых размерах срезанных веток имеют место большие погрешности в определениях.

В настоящее время создаются специальные камеры из органического стекла длиной I м, высотой 0,5 м, в которые вставляются срезанные ветки растений. Камеры устраиваются с конденсацией водяного пара и без его конденсации, с поглощением хлористым барием. Этот способ дает возможность более точно определить величину транспирации.

Заседание 3 августа

Председатель - А.Р. Константинов.
Секретари - М.Р. Бархатова и Т.Г. Федорова.
Присутствовало 90 человек.

I. Обсуждение докладов М. А. Каганова, Е. А. Цубербиллер, Ю.Л. Розенштока, С.Ф. Федорова, Р.М.Рахимбаева.

В.Ф. Пушкарев (ГГИ, Ленинград).

Для оценки какого-либо нового метода необходимо проводить сравнение его с тем или иным эталоном.

Методы водного и теплового баланса при обычной повторности наблюдений не могут служить эталонами, т.к. они обладают значительными погрешностями. ГГИ и ГГО, принимая метод водного баланса за эталон, проводили наблюдения над влажностью почвы в Сальских степях до глубины 3 м с 20-кратной повторностью, а в нижележащих слоях (до уровня грунтовых вод) с 8- и 4-кратной повторностью. При таких условиях ошибки метода водного баланса будут минимальными. Поэтому его можно принять за эталон для сравнения.

Желательно прибор АФИ для непрерывной регистрации испарения сопоставить с показаниями большого гидравлического испарителя. Без такой проверки нельзя дать оценку точности определения испарения этим прибором. Это относится также и к методу А.А.Скворцова.Нужно основательно изучить этот метод, оценить его случайные и систематические ошибки.

На гидрогеологических станциях применяются лизиметры площадью 0,1 $м^2$. По нашему мнению,эта площадь недостаточна для лизиметрических исследований. Большинство культур (хлопчатник,кукуруза, картофель и др.) как на орошаемых, так и неорошаемых полях высаживаются квадратно-гнездовым способом.В этом случае желательно, чтобы площадь лизиметра соответствовала площади гнезда посева. Лизиметры должны иметь площадь не менее 0,3 $м^2$.

2. Заключительное слово докладчиков.

Е.А. Цубербиллер (ЦИП).

При сопоставлении величин испарения, рассчитанных по методу А.А. Скворцова,с данными, полученными по водному балансу,расхождения достигают 30%, что зависит от недостаточного количества повторностей измерения влажности. Небольшие отклонения наблюдаются в солнечные дни с сильным ветром, что и привело нас к необходимости вводить ветровую поправку, равную в среднем 7,5.

Ф.М. Рахимбаев (Узб.гидрогеологический трест).

Кроме лизиметров площадью 0,I м^2, в наших исследованиях используются также лизиметры площадью до 5,2 м^2. Испарение с болотной растительности в наших условиях достигает 960 мм.

3. С о о б щ е н и я.

Г.Н. Хмаладзе (Тбилисский НИГМИ). Средний слой суммарного испарения с суши на территории Грузии.

Ввиду отсутствия непосредственных наблюдений суммарное испарение определялось по уравнению водного баланса за многолетний период

$$X = Y + Z . \qquad (I)$$

Для горных условий Грузинской ССР, характеризующихся сложным комплексом подстилающей поверхности и вертикальной зональностью, в обычном виде уравнение (I) не может быть использовано. Исследованиями Б.Д. Зайкова и автора за длительный период наблюдений установлена закономерность изменения речного стока с высотой местности. Известна также закономерность выпадения осадков в зависимости от высоты.

Количество осадков и модуль стока увеличиваются с повышением высоты местности, а испарение уменьшается. Если представить уравнение (I) в виде

$$Z = X(1-\eta), \qquad (2)$$

где $\eta = \frac{Y}{X}$ - коэффициент стока, то среднее испарение за год можно определить по данным наблюдений над осадками, измеренными на метеостанциях, и коэффициенту стока, вычисленному по многолетним наблюдениям. Для составления карты суммарного испарения использованы коэффициенты стока для 90 речных бассейнов площадью от 5 до 8000 км^2 с периодом наблюдений I5 - 30 лет. При средней высоте бассейнов от 800 до I600 м коэффициенты стока колеблются в пределах 0,I9-0,30, а при высоте I700-2500 м составляют 0,80-0,89. По этим данным установлены зависимости

$$\eta = f(H), \qquad (3)$$

где H - средняя высота бассейна. Для территории Грузии получено II локальных зависимостей, каждая из которых освещена 4 - 28 точками. В нижних частях бассейнов коэффициенты стока незначительны вследствие больших потерь осадков на фильтрацию и испарение.

Для построения карты испарения использованы нормы осадков ,

вычисленные по 161 метеорологической станции, и кривые связи (3). Так как измеренные величины осадков несколько занижены, они исправлялись по формуле, предложенной ГГО.

За основу принята карта Грузии среднего масштаба. Изолинии слоя испарения проведены в основном через 100 мм.

Для рассматриваемой территории средний слой суммарного испарения колеблется в пределах 100-1000 мм в западной Грузии и 100-600 мм - в восточной. Распределение изолиний суммарного испарения в общем соответствует ходу изогиет и изолиний стока. Общее уменьшение испарения происходит в направлении с северо-запада на юго-восток. Наибольшие величины суммарного испарения наблюдаются вдоль побережья Черного моря и особенно в низменных его районах (Батуми, Алазанская долина). Изолиния наименьших величин испарения (100 мм) проходит близ водораздела Главного Кавказского хребта.

Для проверки карты были произведены расчеты испарения по графикам Б.В.Полякова для 9 станций, по формуле М.И.Будыко для 2-х станций и суммарному графику испарения В.П.Валесяна для 40 станций.

Расхождения между рассчитанными величинами и снятыми с предложенной карты составляли 1-28%, а в большинстве случаев - 5-8%.

С целью проверки правильности изолинии 100 мм, расположенной в области вечных снегов и ледников, использовались кратковременные наблюдения Ольдекопа в 1918 г. на Чотанском леднике (Таласский Алатау) и Н.Г. Конкиной в 1931 г.

К.Г. Ганиев (Узб. гидрогеологический трест). О результатах применения графиков Б.В. Полякова для определения суммарного испарения в Шахристанской котловине.

В 1957-59 гг. Узбекским гидрогеологическим трестом проводились работы по выявлению ресурсов поверхностных и подземных вод Шахристанской котловины. В результате в 1959 г. был составлен водный баланс этой территории. Суммарное испарение определялось по графикам Б.В. Полякова с использованием данных наблюдений 4-х метеорологических станций: Шахристанский перевал, Ура-Тюбе, Урсатьевская и Запорожская. Итоговые результаты расчетов испарения приведены в табл. I. Различия в величинах испарения по станциям объясняются отличиями температурного режима и влажности воздуха в упомянутых пунктах, которые расчетными графиками Б.В. Полякова не учитываются. Последний фактор особенно относится к Запорожской станции, расположенной на берегу Чархадского водохранилища, оказывающего влияние на дефицит влажности воздуха на этой станции.

Таблица 1

Годовые величины суммарного испарения (мм), рассчитанные по графикам Б.В. Полякова, осадков (мм) и средние значения температуры воздуха (град.) за 1957 г.

Метеостанция	Испарение	Осадки	Температура воздуха
Перевал Шахристан	128	442	0,8
г. Ура-Тюбе	261	337	10,7
ж.д.ст. Урсатьевская	292	315	12,8
ст.Запорожская	237	230	13,8

В целях проверки возможности применения расчетных графиков Б.В. Полякова было произведено сравнение месячных рассчитанных по этим графикам величин испарения с целины в районе Нижнего Дона с измеренными величинами по данным К.И. Харченко. Результаты сравнения по данным наблюдений за вегетационный период 1957 г. приведены в табл. 2.

Таблица 2

Месячные величины испарения с целины (мм)

Элементы		V	VI	VII	VIII	IX	X	Сумма
испарение	измеренное	101	64	69	25	45	21	325
	рассчитанное	75	71	54	42	28	15	285
осадки, мм		40	59	51	34	34	31	249

Анализ хода измеренных и рассчитанных величин испарения в районе Нижнего Дона показал, что он хорошо согласуется с ходом метеорологических элементов.

Табл. 2 показывает, что расчетные графики Б.В. Полякова дают, как правило, заниженные величины испарения. На основании сказанного можно сделать вывод, что графики Б.В. Полякова применимы для определения испарения, однако для этого требуется установить поправочные коэффициенты к величинам испарения, получаемым этим методом.

4. Доклады.

Д.М. Кац, д-р геол.-мин.наук (ВСЕГИНГЕО, Москва). Испарение грунтовых вод на орошаемых землях пустынной зоны.

Б.Е. Милькис, канд.физ.-мат.наук, Могильников Л.П., мл.науч. сотр. (Ин-т водных проблем АН УзбССР, Ташкент). Исследования испарения с обнаженного ложа водохранилища. Докладывает Б. Е. Милькис.

В.В. Романов, канд.техн.наук (ГГИ, Ленинград). Методы и результаты изучения испарения с поверхности болот.

А.Р. Константинов, канд.физ.-мат.наук (УкрНИГМИ, Киев). Испаряемость - комплексная характеристика метеорологических условий произрастания сельскохозяйственных культур.

5. Ответы на вопросы.

Д.М. Кац (на вопросы Ф.Н. Бончковского, А.И. Будаговского, В.И. Кузнецова, А.А. Роде, В.Ф. Пушкарева, Д.И. Шашко).

При глубине залегания грунтовых вод 3 м доля снижения норм оросительного полива составляет около 10%. Расход воды на транспирацию люцерны при глубине залегания грунтовых вод 0,9 м составил 936 мм, расход поливных вод 464 мм, т.е. в сумме 1400 мм, а при глубине залегания грунтовых вод 2 м - всего 700-800 мм.

Корневая система люцерны имеет переменную глубину, зависящую от глубины залегания капиллярной каймы грунтовых вод, и может проникать до 2,2-2,5 м. При глубине капиллярной каймы 2,77 м годовое испарение уже резко уменьшается.

В наших опытах транспирация определялась путем тщательного закрывания поверхности почвы под растительностью после каждого полива. Величина транспирации хлопчатника и люцерны составляет 70-80% от суммарного испарения.

Годовой ход испарения с поверхности парового поля связан с изменением влагозапасов в почве. При резком уменьшении влажности почвы сильно снижается испарение. По нашему мнению, следует организовать наблюдения на сети станций над испарением с почвы, лишенной растительности. Эти материалы явились бы своеобразным стандартом, с которым можно было бы сравнивать данные наблюдений на других видах поверхности.

Б.Е. Милькис (на вопрос А.А. Роде). По мере обнажения дна водохранилища от воды уровень грунтовых вод понижается и начинается пересыхание ложа, причем наиболее сильно пересыхает самый верхний слой грунта.

В.В. Романов (на вопросы А.И. Будаговского и Д.И. Шашко). Удельным испарением (по энергетическому признаку) называется от-

ношение испарения к радиационному балансу. Основным действующим фактором является приток энергии. Температура воздуха является следствием радиационного баланса.

Величина испарения с поверхности болота, получаемая как произведение удельного испарения на радиационный баланс, не может быть больше возможного испарения, т.к. испарение определяется для больших болотных массивов, где в противоположность сухой степи оазисного эффекта не наблюдается.

А.Р. Константинов (на вопрос Д.М. Каца). За испаряемость принято испарение с разнотравного луга при неограниченном подтоке влаги к испаряющей поверхности. Почва под лугом имела различную увлажненность, т.к. уровень грунтовых вод в компенсационных испарителях ВНИГЛ поддерживался на глубинах 180, 90 , 50 и 25см. Наибольшее испарение имело место в испарителе с уровнем грунтовых вод 50 см.

6. В ы с т у п л е н и я.

А.С. Горбунов (НИИ водного хоз-ва МСХ КазССР, Алма-Ата). На юге Казахстана расположено более 2 млн га орошаемых земель, в связи с чем поставлена задача в короткие сроки разработать поливной режим для основных сельскохозяйственных культур. Метод аналогии, которым пользуются проектные организации для определения поливного режима, приводит к большим ошибкам при строительстве и эксплуатации оросительных систем.

В институте "Гидропроект" разрабатывается генеральная схема использования водных ресурсов Казахстана. В связи с этим проектировщикам требуется прогноз поливного режима, чтобы детально рассчитать оросительную способность водных источников . Расчеты по существующим методам позволяют получить оросительные нормы, при которых возможен максимальный урожай сельскохозяйственных культур. Исследования нашего Института показали, что такие нормы являются экономически нерентабельными.

В Научно-исследовательском институте водного хозяйства с 1959 г. производятся работы по изучению возможности применения различных методов для расчетов поливного режима сельскохозяйственных культур. Институт использовал метод водного баланса, который принят за контрольный, теплового баланса, градиентных наблюдений по программе ГГО и А.Р. Константинова, методы А.А. Скворцова и А. М. Алпатьева. Производились также детальные исследования с помощью лизиметров. Все перечисленные методы применялись на оросительных участках с сахарной свеклой и кукурузой.

В результате анализа полученных данных оказалось, что градиентный метод ГГО совершенно непригоден при безветренных условиях, т.к. величины испарения, рассчитанные этим методом, на 40-60% занижены по сравнению с контрольными.

Остальные методы дают расхождения на 10-15% по сравнению с контрольными, однако они являются весьма трудоемкими.

В условиях оптимального увлажнения орошаемой почвы представляется целесообразным развивать и внедрять метод расчета испарения по данным метеорологических наблюдений, предложенный А.Р.Константиновым.

В решениях совещания желательно записать следующие предложения:

1) создать координационный центр по вопросам изучения испарения;

2) рекомендовать ГГИ издавать сборники по вопросам испарения, в которых помещать результаты исследований специалистов различных учреждений.

П. И. Колесник (Киевский гос. ун-т). Выступающие говорили главным образом о суммарном испарении, но мало уделяли внимания разделению суммарного испарения на составляющие. Для практики нужно изучать, кроме суммарного испарения, испарение с почвы под растительным покровом и транспирацию.

Вопрос о точности почвенных испарителей требует доработки, которую может выполнить Валдайская лаборатория Государственного гидрологического института. Необходимо разработать более обоснованные показатели для определения времени смены монолитов в испарителях. За эталон нужно принять гидравлический почвенный испаритель. В степных районах Украины следует применять более глубокие испарители, чем ГГИ-500-50.

При определении испарения методом А.А. Скворцова с хлопчатника, люцерны, озимой пшеницы, сахарной свеклы и картофеля мы вводили поправку на ветер. Такая поправка нужна во всех случаях. Автор метода А.А. Скворцов указывал в своей работе, что этот метод следует применять в тех районах, где скорость ветра небольшая. Наша задача - установить пригодность метода Скворцова для различных условий.

Д. И. Шашко (СОПС, Москва). Ознакомление с экспериментальными установками и содержанием исследований Валдайской гидрологической лаборатории оставило у участников совещания незгладимое впечатление. Весьма интересные экспериментальные установки и углубленное

изучение гидрологических процессов являются важными особенностя - ми научных исследований ВНИГЛ.

При наблюдениях над испарением и транспирацией необходимо учитывать количество органического вещества, и не только конечную массу, а и,главным образом,ее динамический прирост для того,чтобы сравнивать влагопотребление отдельными культурами в процессе их·роста и развития. Было бы целесообразным составить для сети испарительных станций подробную инструкцию по наблюдениям над растительной массой для того, чтобы увязать испарение с состоянием растений, накоплением органического вещества и конечным урожаем.

А.И. Будаговский (Ин-т географии АН СССР, Москва).

В.В. Романов поступает, на наш взгляд, не совсем правильно, когда при определении удельного испарения использует только радиационный баланс. Радиационный баланс поверхности земли преобразуется , причем это преобразование зависит от метеорологических условий . Между температурой,влажностью воздуха, а также состоянием расти - тельного покрова и величиной радиационного баланса существует стохастическая связь, поэтому при исследовании процесса испарения целесообразно использовать энергетический баланс не в виде радиационного баланса, а в виде учета влияния комплекса метеорологических элементов.

Определение скорости притока грунтовых вод к корнеобитаемой зоне можно производить путем измерения влажности в слое почвы до зеркала грунтовых вод и расчета испарения по методу теплового баланса. Нами были получены следующие данные. В начальные фазы развития хлопчатника при глубине залегания грунтовых вод I,4-I,5 м и средней величине испарения порядка 3 - 3,5 мм/сутки все испарение происходило за счет притока грунтовых вод. В июле, когда хлопчатник достаточно развился, расход грунтовых вод на испарение уменьшился и составлял около 60-70%. В Голодной степи при глубине залегания грунтовых вод от I до 3 м доля расхода грунтовых вод на испарение не снижалась менее 30% от общих потерь влаги на испарение.

Между испарением и фотосинтетической деятельностью растений, а следовательно, и урожайностью существует косвенная связь, т.к. испарение и фотосинтез зависят, в основном , от одних и тех же метеорологических факторов. Однако форма этих зависимостей неодинакова.

7. З а к л ю ч и т е л ь н о е с л о в о д о к л а д ч и к о в.

Б.Е. Милькис (Ин-т водных проблем, Алма-Ата). Основная трудность сопоставления результатов исследований состоит в том, что исследования ведутся по различным программам и методике. Поэтому организации,которой, вероятно, будет поручено осуществлять координацию исследований испарения с суши, следует рекомендовать разработать единую методику этих исследований, а также предусмотреть использование одинаковых стандартных приборов для производства измерений испарения.

В.В. Романов (ГГИ, Ленинград). Угол наклона прямых $\alpha = \frac{E}{R\delta}$ определяется экспериментальным путем. Разброс точек имеет место , но для условий болот он незначителен. Тангенс угла наклона зависит от степени увлажнения и от уровня грунтовых вод.

З а с е д а н и е 4 а в г у с т а

Председатель - В.Ф. Пушкарев.
Секретари - М.Р. Бархатова и Т.Г. Федорова.
Присутствовало 90 человек.

I . Д о к л а д ы.

Р.Н. Олейник, мл.научн.сотр., Л.И. Сакали, канд.геогр.наук (Укр НИГМИ, Киев). Опыт расчета режима суммарного испарения для территории Украины и Молдавии.Докладывает Л.И. Сакали.

И.С. Шпак, канд.геогр. наук (УкрНИГМИ, Киев). Некоторые характеристики испарения с почвы, полученные методом водного баланса.

К.И. Смирнов, канд.техн.наук (ГГИ,Ленинград). Некоторые результаты исследований испарения с почвы в Кустанайской области.

К.И. Каулина, ст.инженер (Каменностепная ГМО, ст. Таловая Воронежской обл.). Результаты изучения испарения с почвы в Каменной Степи различными методами.

С.Л. Левин, канд.с.-х. наук (АФИ, Ленинград). Испарение с полей,занятых овощными культурами,в Ленинградской области.

В.В. Виноградов, мл.научн.сотр. (ДНИГЛ ГГИ, с. Дубовское, Ростовской обл.) Опыт непрерывной регистрации суточного хода испарения с почвы самописцами, установленными на гидравлическом испарителе малой модели.

П.В. Тищенко, нач-к стоковой станции (ДНИГЛ ГГИ, с.Дубовское, Ростовской обл). Применение лизиметров для определения испарения в районе Нижне-Донской оросительной системы.

2. О т в е т ы н а в о п р о с ы

Л.И. Сакали (на вопросы Б.И. Куделина, В.С. Голубева, В.И.Кузнецова, Е.А. Цубербиллер). Годовые суммы осадков на территории Украины составляют: на юге Украины-около 400 мм, в северо-западных районах-около 600 мм, в западных районах – около 800 мм. Рассчитанные и измеренные декадные и месячные величины испарения с луга в районах г. Киева и с. Ховтнево, Днепропетровской обл., отличаются между собой на несколько миллиметров. В расчетах сезонных величин испарения за зимний сезон принят период декабрь-февраль.

И.С. Шпак (на вопросы С.И. Крестовского, А.И. Будаговского, К.Г. Ганиева, С.Ф. Федорова). При определении изменения влагозапаса почвы буровым методом возникают большие погрешности. Влагозапасы метрового слоя почвы, при 4-кратной повторности в наблюдениях, на однородном участке определяются с точностью 3-5 мм; на водосборах (включающих склоны понижения) – со среднеквадратичными отклонениями, составляющими 30-40 мм. При 30-60-кратной повторности наблюдений среднеквадратичная ошибка получается равной 5 – 10 мм. Среднеквадратичное отклонение σ определялось по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{W_i - \bar{W}}{n-1}},$$

где W_i – изменение влагосодержания метрового слоя почвы в отдельной скважине между сроками наблюдений, $\bar{W}$ – среднее изменение влагосодержания по всем скважинам.

Влажность скальных пород определять обычным способом нельзя. Сезонные изменения влагозапасов почвы в лесу распространяются на I м глубже, чем в поле.

К.И. Смирнов (на вопросы А.К. Алимова, И.С. Шпака). В Кустанайской области гидрологической экспедицией ГГИ используются для измерения испарения почвенные испарители ГГИ-500-50, ГГИ-500-100, гидравлические испарители малой модели и лизиметры. По данным экспедиционных исследований, величины испарения с почвы тесно связаны с влагозапасами почвы и осадками.

К.И. Каулина (на вопрос Б.Е. Милькиса). При исследованиях испарения с почвы в Каменной Степи сравнивались между собой данные, полученные одновременно различными методами. В этих исследованиях ни один из методов не был принят в качестве эталонного.

С.Л. Левин (на вопросы А.Р. Константинова, С.Ф. Федорова, Е.А. Цубербиллер, И.С. Шпака). Имеет смысл и практическое значение определение всех составляющих теплового баланса почвы. Испарение с почвы среди растений измерялось с помощью микроиспарителей площадью 100 $см^2$, высотой 7 см.

Мощность слоя почвы, питающего корневую систему капусты, составляет 0-30, 0-50 см. Максимальное испарение (в ясные дни, при высокой влажности почвы) наблюдается при хорошем состоянии растений, на что следует ориентироваться при определении времени полива.

П.В. Тищенко (на вопрос с места). Метод взвешивания позволяет определять достаточно точно испарение за короткие промежутки времени, тогда как метод долива обеспечивает получение данных об испарении лишь за продолжительные периоды времени, т.к. этим методом не учитывается изменение влагосодержания почвы в зоне аэрации. В оперативной работе для установления срока и нормы полива необходимо располагать данными об испарении (иссушении почвы) за короткие промежутки времени.

3. Обсуждение докладов Р.Н. Олейника и Л.И. Сакали, И.С. Шпака, К.И. Смирнова, К.И. Каулиной, С.Л. Левина, В.В. Виноградова и П.В. Тищенко.

С.И. Долгов, д-р с.-х.наук (Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, Москва). Задачи совещания заключаются в том, чтобы обменяться мнениями по результатам определения испарения с поверхности суши различными методами и затем на основе обсуждения и оценки результатов прийти к мнению о широком внедрении методов и расширении измерений испарения с почвы. В тезисах первого доклада В.Ф.Пушкарева прямо говорится :"Метод почвенных испарителей является более точным, экономичным и менее ограничен условиями применения , чем другие методы". В заключительных тезисах доклада сказано: " В ближайшие 2-3 года следует значительно расширить сеть стационарных наблюдений над испарением с поверхности суши с помощью почвенных испарителей и лизиметров". Заслушав целый ряд докладов, осветивших картину применения различных методов изучения испарения с поверхности суши, у меня сложилось мнение, что расчетные методы (турбулентной диффузии, теплового баланса, метод Скворцова) обладают серьезными недостатками. Во-первых, эти методы технически до некоторой степени сложны; во-вторых, каждый из них относится к атмосфере, т.е. к такой неустойчивой системе, которая характеризуется адвективным перемещением запасов тепла и изменением массы воздуха, что налагает большие ограничения на широкое применение этих методов.Для целого ряда природных условий,по-видимому, расчетные методы можно применять.

Метод почвенных испарителей с очень большой натяжкой может быть принят как эталонный. В первом докладе В.Ф. Пушкарев показал, что температурный режим почвы в испарителе несколько отличается от температурного режима почвы в естественных условиях. На полях ВНИГЛ сейчас имеются испарители с кукурузой, льном, овсом и картофелем. Кукуруза и лен в испарителях не отличаются от окружающих растений, в то время как овес и картофель сильно отличаются: развитие картофеля в испарителе происходит более быстрыми темпами, чем в поле, а овес в испарителе отстает в своем развитии. Нужно добиваться, чтобы развитие растений в испарителях было таким же, как и в поле. Должна учитываться урожайность растений в испарителях и окружающей среды. Испаритель должен быть репрезентативным относительно водного режима и развития растений в нем. При выполнении этих условий к испарителям будут иметь доверие. В отношении применения испарителей и расширения наблюдений над испарением, мне думается, нужно проявить осторожность.

В.А. Урываев и Д.М. Кац говорили о необходимости изучения всех составляющих водного баланса. Нужно подумать над тем, чтобы продвигать на сеть изучение не только испарения, но и других элементов водного баланса. Гидрологическому институту нужно возглавить работу по координации исследований водных балансов отдельных территорий и изучения испарения научными учреждениями Гидрометслужбы и других ведомств. В ГГИ следовало бы концентрировать все отчеты таких исследований.

А.Р. Константинов (УкрНИГМИ, Киев). Расчеты испарения с территории Украины и Молдавии, доложенные Л.И. Сакали, произведены по схеме, которая проверялась по водному балансу. При расчетах испарения методом водного баланса к осадкам вносились поправки согласно последним рекомендациям. Величины испарения, рассчитанные по температуре и влажности воздуха, несколько расходятся с величинами, рассчитанными методом водного баланса, по причине некоторой нерепрезентативности метеорологических станций. Схема расчета разработана для определения испарения с луга. Если метеорологическая станция расположена среди поля, занятого другой культурой, то расчетная схема применима для определения испарения с этого поля. В случаях, когда поле расположено на значительном расстоянии от станции, необходимо пользоваться переводными графиками, построенными по результатам одновременных измерений испарения с луга и с поля, занятого сельскохозяйственной культурой.

Для измерения испарения с сельскохозяйственных полей во всех зонах увлажнения лучше применять испарители ГГИ-500, глубиной I м.

Из доклада К.И. Каулиной следует, что величины испарения, полученные градиентным методом,сильно расходятся от измеренных, причем, в основном, в сторону занижения. Этот недостаток связан с приборными погрешностями в измерениях градиентов.

Т.А. Огнева, канд.геогр.наук (ГГО, Ленинград). В заслушанных докладах совещанию представлено большое многообразие материала,освещающего вопросы обобщения результатов исследований испарения с суши и методические вопросы. Многообразие природных условий и народнохозяйственных задач, для решения которых требуется знание величин испарения, приводит нас к необходимости применения разных методов определения испарения. Самым простым и надежным было бы непосредственное измерение испарения. Гидрологи находятся в более выигрышном положении, чем метеорологи, в том отношении, что рекомендуемый ими метод почвенных испарителей, который простейшим образом суммирует величины испарения, позволяет накапливать материал, в то время как метеорологи ратуют за градиентный метод, успешное применение которого затрудняется из-за отсутствия дистанционной аппаратуры для регистрации хода метеорологических элементов. С существующими приборами градиентный метод не может дать большего. Градиентный метод часто показывает отрицательное испарение. Это не означает, что потока водяного пара нет. Он есть, но мы не знаем, чем измерить. Наиболее совершенным методом определения испарения является метод теплового баланса. Конечно, этот метод сейчас трудоемок для широкой сети станций, и особой необходимости внедрения его на сеть нет, но в качестве контроля на хорошо оснащенных станциях его стоит применять. Желательно, чтобы хорошо оснащенная Валдайская научно-исследовательская гидрологическая лаборатория тоже несколько больше уделяла внимания изучению элементов теплового баланса.

Г.В. Белухина, мл.науч.сотр. (ЦИП, Москва). В результате исследований влагопотребления яровой пшеницы,проведенных ЦИП'ом в 1954 и 1955 гг. в Бузулуке, было установлено, что на поле орошаемой пшеницы затраты тепла на испарение намного превышают величины других составляющих теплового баланса. Распределение затрат тепла на испарение по фазам развития характеризуется следующими данными: в период кущения затраты тепла на испарение составляют 41% от радиационного баланса; в период фазы выхода в трубку - 63%; в фазу колошение-цветение-75-81%. Такие соотношения возможны только при дефиците влажности воздуха выше 30 мб и при запасах влаги в почве в слое 0-20 см более 20 мм.Заметим,что аналогичные соотношения затрат тепла на испарение к радиационному балансу наблюдаются и по другим культурам (хлопок, картофель).

При высоких урожаях яровой пшеницы, хлопчатника и картофеля затраты тепла на испарение в период наибольшего развития вегетативной массы культур составляют 75-90% от радиационного баланса.

Для Заволжья получена следующая формула для расчета величины испарения с поля орошаемой яровой пшеницы:

$$U = 0{,}24\,X + 0{,}02\,Y + 0{,}57\,Z - 3{,}75,$$

где U - испарение с поля яровой пшеницы,

X - дефицит влажности воздуха в 13 часов в психрометрической будке,

Y - запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы,

Z - фаза развития растений, шифруемая следующим образом: всходы - 0, 3-й лист - 1, кущение - 2, трубка - 3, колошение - 4, цветение - 5, молочная спелость - 6.

Коэффициент корелляции для этой связи равен 0,78.

Заседание 5 августа

Председатель - В.А. Урываев.
Секретари - М.Р. Бархатова, Т.Г. Федорова.
Присутствовало 90 человек.

1. Доклад.

В.Ф. Пушкарев, канд.физ.-мат.наук (ГГИ, Ленинград). Состояние и план развития наблюдений над испарением с почвы.

2. Обсуждение докладов.

А.И. Будаговский (Ин-т географии АН СССР, Москва).

Для наблюдений над испарением с почвы на сети гидрометеорологических станций можно рекомендовать метод почвенных испарителей. Применение этого метода на сети станций необходимо организовать таким образом, чтобы получаемые материалы можно было использовать для возможно более широких обобщений. Сущность таких обобщений заключается в построении связей испарения с определяющими его факторами (метеорологические условия, влажность почвы, густота растений, фазы развития растительного покрова). Наблюдения над испарением с почвы с помощью испарителей должны совмещаться с наблюдениями над влажностью почвы и солнечной радиацией. Материалы всех наблюдений необходимо публиковать совместно (испарение, метеорологические данные, радиация и т.д.). Метод теплового баланса в настоящее время может найти применение лишь на специализированных станциях и при экспедиционных исследованиях.

В.И. Пызин (Гипролестранс, Ленинград)

Вопрос испарения имеет важное значение для проектирования, строительства и эксплуатации железных и автомобильных дорог. Водный режим земляного полотна и стояние уровня грунтовых вод связаны с испарением. Эти факторы определяют устойчивость земляного полотна. До настоящего времени при проектировании малых искусственных сооружений и полотна дороги (в бассейнах площадью менее 10 км^2) обычно основываются на приближенных расчетах максимального стока. В этих расчетах испарение не учитывается. Нужно выяснить значимость и возможность учета явления испарения при гидрологических расчетах, связанных с проектированием и строительством дорог.

А.А. Роде (Почвенный ин-т им. Докучаева, Москва).

В.А. Урываев, открывая наше совещание, подчеркнул, что вопрос, которому посвящено это совещание, имеет особенно большое значение в связи с теми грандиозными задачами по преобразованию природы, которые стоят перед нашей страной. С такой постановкой вопроса, конечно, нельзя не согласиться.

Исходя из этого и оценивая все то, что мы слышали на данном совещании и что знаем о состоянии гидрологии в широком смысле этого слова, учитывая последний доклад, мы должны прийти к выводу, что в нашей работе, как мне кажется, есть один очень существенный принципиальный недостаток. Этот недостаток заключается в том, что в работе по вопросам изучения водного режима, водного баланса и влагооборота суши до сих пор отсутствует комплексность. Мы еще очень мало занимаемся вопросами связи между отдельными явлениями водного режима.

Мне думается, что главным условием успешного развития дальнейших работ является их комплексность. Исследования должны охватывать всю систему природных тел: атмосферу, растительный покров, грунт, открытые водотоки и открытые водоемы.

Вторым условием, может быть более частным и не всегда осуществимым, но которое должно осуществиться, является прямое измерение интересующих нас величин, которые характеризуют значения, если не все, то, по крайней мере, во всех статьях водного баланса.

В исследовательской работе выполнение этого условия является необходимым. Только владея данными непосредственных измерений, достаточно надежными методами, точность которых нам хорошо известна, мы сможем найти все закономерности, которые интересуют. Вместе с тем мы сумеем контролировать получаемые нами величины независимыми путями. При этом условии мы сумеем точно ответить на вопрос, каков результат тех мероприятий, к которым мы прибегаем по преобразованию природы.

Таким образом, в дальнейшем наша работа должна строиться комплексным методом и в ней должны принимать участие метеорологи, гидрологи, почвоведы и физиологи растений.

Особенно необходимо подчеркнуть последнюю специальность, потому что она до сих пор далеко не полностью привлечена к изучению гидрологических явлений в тех размерах, в которых это необходимо.

Изучение водного режима, водного баланса и влагооборота должно сочетаться с изучением теплового режима, теплового баланса и теплооборота.

Каким образом следует организовать работу? Очевидно, во всех биоклиматических зонах, а может быть и во всех биоклиматических провинциях, в дальнейшем нужно подумать о создании таких учреждений, как Валдайская научно-исследовательская гидрологическая лаборатория. Но это вопрос далекого будущего. Такие лаборатории (комплексные крупные станции), к работе на которых следует привлекать ряд специализированных институтов, собственно и должны поставить своей задачей чисто исследовательскую работу, т. е. нахождение тех закономерностей, которые управляют гидрологическими процессами.

Само собой разумеется, что таких лабораторий, которых в ближайшее время можно создать лишь единицы, очень недостаточно. Их должна дополнять сеть станций, основной задачей которых является сбор соответствующих данных по единой методике - та сеть, о которой говорил в своем заключительном докладе В.Ф.-Пушкарев. Эти станции должны накапливать материал, который позволит гидрологам экстраполировать те закономерности, которые будут получаться крупными станциями, приуроченными к определенным биоклиматическим зонам.

Здесь говорили о создании междуведомственного органа, координирующего работу. Я к этому всецело присоединяюсь, но с одной оговоркой: мы должны организовать координирующий центр не только по проблеме изучения испарения, но и всей работы по изучению гидрологического процесса.

Теперь позвольте сделать несколько замечаний уже по специальному вопросу, по которому собрались,- по вопросу об испарении.

Во-первых, нужно констатировать, что во всех докладах речь шла в основном о валовом испарении. Валовое (суммарное) испарение является суммой по меньшей мере трех слагаемых: физическое испарение с поверхности почвы, физическое испарение с поверхности растительных органов, физическое испарение или транспирация, т.е. расход влаги, находящейся в почве, через растение.

Из этих трех слагаемых продуктивным является только транспирация, в то время как два других слагаемых являются непродуктивными. Между тем величина этого непродуктивного расхода очень велика.

Я удовлетворен, как выяснилось в частной беседе с В.Ф.Пушкаревым, что мы независимо друг от друга пришли к одинаковой оценке этого непроизводительного непродуктивного расхода. На полях, занятых растениями, непроизводительный расход составляет около 50%. Какой это огромный резерв повышения производительности на полях в зоне недостаточного увлажнения. Конечно, борьба с этим явлением вообще не простая, и рецептов для этого в настоящее время не существует, но бороться нужно. Необходимо обратить внимание на следующие вопросы. Первый вопрос -о накоплении влаги в почве. Пар считается накопителем влаги в почве, издавна считалось так. В Заволжье в каштановых почвах 4/5 годовой суммы осадков теряется на испарение (из 270 мм теряется на испарение более 200 мм). Уметь расчленить валовое испарение на составляющие чрезвычайно важно, с одной стороны, для определения резервов влаги, а с другой,- для проверки результатов тех мероприятий, которые будем предпринимать для того, чтобы бороться с бесполезными потерями.

Другой вопрос, которым мы часто задаемся: какова эффективность летних осадков? Этим вопросом занимался еще Ротмистров. Он считал, что если осадков выпадает меньше 5 мм в сутки, то это количество является неэффективным.

Практика поливов показала, что высохший слой при его промачивании осадками в количестве 5-15 мм не обеспечивает растения влагой, потому что после того, как высыхает поверхностный слой, у них отмирают сосущие органы на корнях, и только когда полив достигает слоя 20-25 мм, тогда на 4-5 - й день растения развивают корневые волоски и усваивают влагу, расходуя ее затем на транспирацию. Вот пример того, как важно расчленять валовое испарение на составляющие.

В заключение я хочу поблагодарить руководство ГГИ и коллектив сотрудников Валдайской гидрологической лаборатории за все то исключительно интересное и ценное, что мы за пять дней получили.

<u>М.С. Шпак</u> (УкрНИГМИ , Киев).

А.С. Конторщиков говорил о методе и выборе характерных скважин. Мне кажется, нельзя определять влажность почвы по постоянным характерным скважинам, потому что влагосодержание почвы перед началом вегетации зависит от количества воды, поступившей в зимне - -весенний период, которое в свою очередь зависит от высоты снежного покрова. Последний распределяется на поверхности неравномер-

но. Далее, при построении зависимостей, связывающих метеорологические элементы с испарением,недостаточно брать метровый слой почвы , так как, например, в условиях Украины в период вегетации иссушается слой, превосходящий I м. Желательно, чтобы наблюдения за влажностью почвы на агрометеорологических станциях проводились до глубины 2-3 м хотя бы 2-3 раза в год.

Пожелание С.И. Долгова об изучении влажности почвы во всей зоне аэрации возможно осуществить только при специальных исследованиях.

Выступление А.Р. Константинова по вопросу об испаряемости вносит путаницу в понимание этого термина. Вместо испаряемости лучше пользоваться измеренными величинами с конкретной поверхности, при заданных условиях увлажнения (испарение с поверхности песка, при наименьшей его влагоемкости по испарителю площадью 500 $см^2$,испарение с водной поверхности).

А.Р. Константинов (УкрНИГМИ , Киев).

Понятие "испаряемость" выдвинуто самой практикой. Отказаться от этого понятия, это значит идти назад. Если вместо испаряемости каждый будет брать, что захочет , невозможно будет сравнивать результаты исследований.

А.С. Конторщиков (ЦИП, Москва).

Влажность почвы не обладает такой изменчивостью, как снежный покров. На практике выбор характерных скважин для наблюдений за влажностью почвы удается. Этот метод позволяет получить более точные данные по влажности почвы.

В.Ф. Пушкарев (ГГИ, Ленинград).

А.А. Роде поднял очень важные вопросы о постановке комплексных исследований гидрологического процесса, об организации крупных научно-исследовательских гидрологических лабораторий (станций) в различных биоклиматических зонах страны и развитии массовых сетевых наблюдений. Его предложения полностью должны быть поддержаны. Можно констатировать, что совещание приходит к единому мнению о необходимости широкого развития наблюдений над испарением на сети гидрометеорологических станций методом испарителей - лизиметров.

Ответ на вопрос Л.И. Зубенок. На Крайнем Севере следует привлекать к наблюдениям над испарением в первую очередь теплобалансовые станции, применяя метод теплового баланса.

3. Обсуждение проекта решений.

К.Е. Иванов (ГГИ, Ленинград) зачитывает проект решений Междуведомственного совещания, представленный редакционной комиссией. Проект решений принимается за основу (единогласно).

Председательствующий В.А. Урываев вносит предложение обсуждать проект решений по разделам: констатационная часть, недостатки и предложения. Предложение принимается.

Д.И. Шашко (СОПС, Москва). Предлагает указать в решениях авторов разработки упомянутых методов.

Б.И. Куделин (МГУ, Москва). Редакционная комиссия договорилась не указывать авторов методов, а указывать учреждения, в которых они разработаны. Принимается предложение, соответствующее записанному в проекте решений.

А.А. Роде (Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, Москва). В первом разделе решений надо записать о необходимости глубокого изучения полных водных балансов и водных режимов территорий и особенно процессов испарения и транспирации сельскохозяйственных культур. Во втором разделе решений следует отметить, что в ряде случаев измерения испарения с помощью испарителей производятся при недостаточной их глубине.

П.П. Кузьмин (ГГИ, Ленинград). В решениях совещания необходимо записать о том, что в 50 пунктах наблюдений над испарением с почвы почвенные испарительные площадки целесообразно преобразовать в площадки круглогодичного действия.

А.И. Будаговский (Ин-т географии АН СССР). Предлагает отметить что метод расчета испарения по температуре и влажности воздуха, разработанный ГГИ, является еще весьма несовершенным.

С.И. Долгов (Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, Москва). Следует записать в решениях об усилении разделов водного баланса и водного режима почвы в соответствующих курсах в высших и средних учебных заведениях.

А.А. Роде (Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, Москва). В п. 10 решений следует записать: "Рекомендовать ГГИ и другим учреждениям, выполняющим воднобалансовые работы, усилить изучение испарения и других статей баланса подземных вод".

В следующем пункте решений записать: "Организовать научно-исследовательские гидрологические лаборатории типа Валдайской во всех биоклиматических зонах страны и в первую очередь в южных зонах - Средней Азии и на Украине".

Д.М. Кац (ВСЕГИНГЕО, Москва). В решениях необходимо указать об организации изготовления заводским способом лизиметров.

В.А. Урываев (ГГИ, Ленинград). Предлагает указать (перечислить)

в решениях,какие приборы следует изготовлять заводским способом.

Вопрос к комиссии: в п. 8 проекта решений предусматривается "Сообщение расчетных данных, полученных различными организациями". Что имеется в виду по этому предложению?

К.Е. Иванов (ГГИ, Ленинград). По обобщению расчетных данных имелось в виду: собрать, сопоставить и оценить надежность конкретных расчетов испарения с различных территорий, угодий и т.д.,выполненных научными учреждениями Гидрометслужбы и других ведомств.

О.В. Попов (ГГИ, Ленинград). Расчеты испарения с территорий в разных районах страны и работы по анализу выполненных расчетов будут производиться при составлении карт испарения. Поэтому в решениях совещания не требуется записывать отдельно работу по обобщению расчетных данных.

В.Ф. Пушкарев (ГГИ, Ленинград).В решениях необходимо записать такое предложение: "Рекомендовать всем учреждениям, проводящим исследования испарения, опубликовать имеющиеся материалы измерений испарения и других элементов (градиенты температуры и влажности воздуха, составляющие теплового баланса), которые могут быть использованы для расчетов испарения".

В.А. Урываев (ГГИ, Ленинград). Редакционной комиссии следует уточнить и внести редакционные исправления в п. п. 12 и 27 проекта решений.

Решения совещания в целом, с учетом сделанных замечаний и предложений, принимаются единогласно.

В.А. Урываев.

Настоящее совещание было, как отмечали многие из участников, несомненно полезным в отношении взаимного ознакомления с работами, которые проводятся в этой области, и в отношении ознакомления с методами и результатами исследований.

Мне кажется, что это совещание может стать в какой-то мере началом улучшения координации работ в области изучения испарения с суши и должно помочь решить вопрос о проведении совместных исследований по рассматриваемой проблеме.

Эти исследования должны быть организованы так, чтобы в них на равных правах участвовали не только организации Гидрометслужбы, но и многие другие научные и производственные организации нашей страны.

Со своей стороны мы будем стремиться к тому, чтобы решения, которые были сегодня здесь приняты, провести в жизнь, и просим присутствующих по линии своих ведомств и организаций также попытаться предпринять шаги, чтобы эти полезные и нужные для дела рекомендации были выполнены.

Пользуясь случаем, мы еще раз приглашаем вас для совместной работы на экспериментальных базах ГГИ на любых условиях и в любой форме и для использования материалов, которые на них накапливаются. Можно с удовлетворением отметить, что на данном совещании практически по всем принципиальным вопросам проблемы изучения испарения мнения ученых и специалистов, работающих в различных учреждениях, были едиными. Материалы этого совещания помогут продвинуть вперед дело изучения баланса вод в связи с преобразованием природы, дело изучения испарения.

Позвольте поблагодарить вас за активное участие в работе совещания.

Р Е Ш Е Н И Я

Междуведомственного совещания по проблеме изучения испарения с поверхности суши

Совещание отмечает большое значение проблемы изучения испарения с поверхности суши для сельского хозяйства и различных отраслей промышленности.

Актуальность этой проблемы особенно возросла в связи с решениями январского Пленума ЦК КПСС 1961 г. по дальнейшему увеличению производства сельскохозяйственных продуктов в нашей стране, предусматривающими проведение крупных водохозяйственных мероприятий, включающих орошение и осушение больших земельных массивов, и поднятие культуры земледелия на основе современных достижений науки и техники.

Для осуществления намеченных мероприятий необходимо глубокое изучение полных водных балансов и водных режимов территории и особенно процессов испарения, транспирации сельскохозяйственных культур, обусловливающих их водопотребление, и водного режима почвогрунтов в различных физико-географических условиях.

В Государственном гидрологическом институте (ГГИ), Главной геофизической обсерватории (ГГО), Центральном институте прогнозов (ЦИП), ВСЕГИНГЕО, ГИДРОИНГЕО АН Узбекской ССР, Лаборатории лесоведения при Госплане СССР, УкрНИГМИ, Агрофизическом институте(АФИ), Институте географии АН СССР и некоторых других учреждениях выполнены значительные работы по изучению методов определения испарения с сельскохозяйственных полей и других поверхностей суши и по использованию данных по испарению, полученных при помощи этих методов, для решения практических задач.

Разработанный ГГИ и другими учреждениями метод непосредственного измерения испарения с помощью испарителей и лизиметров различных конструкций нашел широкое применение в научных исследованиях и для получения данных по испарению с суши в производственных и проектных организациях, а также на сети станций Гидрометслужбы. Этот метод используется также в практике работ на полях колхозов и совхозов для определения водопотребления сельскохозяйственных культур в орошаемых районах.

В ГГИ разработаны и созданы уникальные конструкции гидравлических испарителей, которые могут служить и являются эталонами для контроля и сравнения данных по испарению, получаемых другими методами.

На сети гидрогеологических станций Министерства геологии и охраны недр СССР широко используется метод лизиметров для определения расхода грунтовых вод на испарение и транспирацию сельскохозяйственных культур.

Наряду с этим в настоящее время применяются, главным образом в научных исследованиях, методы определения испарения по водному балансу (в различных его вариантах), тепловому балансу (полный и упрощенный), турбулентной диффузии и некоторые другие.

Теоретические основы методов теплового баланса и туроулентной диффузии в последние годы были особенно развиты и усовершенствованы в работах ГГО и Института физики атмосферы АН СССР.

Вопросы теории испарения с сельскохозяйственных полей и леса разрабатываются также в Институте географии АН СССР.

В Центральном институте прогнозов разработаны, на основе графиков Б.В. Полякова, новые эмпирические графики для определения испарения с учётом начальных влагозапасов почвы, обеспечивающие повышение точности агрометеорологических прогнозов и расчетов. В научно-исследовательской работе ЦИП"а получил также применение метод расчета испарения А.А. Скворцова.

В АФИ разработано устройство для автоматического измерения величин испарения на основе метода теплового баланса.

В ГГИ был разработан для расчета испарения с болот упрощенный метод теплового баланса, а в последние годы - новый метод расчета испарения по данным стандартных метеорологических наблюдений на сети гидрометстанций над температурой и влажностью воздуха.

В Валдайской научно-исследовательской гидрологической лаборатории проводятся комплексные исследования испарения с различных поверхностей суши (с пойменных и заболоченных земель, сельскохозяйственных полей, леса и других поверхностей).

Сравнительное изучение методов: почвенных испарителей и лизиметров, водного баланса, теплового баланса и турбулентной диффузии, выполненное ГГИ и ГГО, позволило оценить точность и трудоемкость этих методов и выделить метод почвенных испарителей и лизиметров в качестве сетевого для массовых наблюдений на сети гидрометстанций. Методы расчета испарения по данным сетевых наблюдений, разработанные в ГГИ и ЦИП, метод А.А.Скворцова, автоматическое устройство для регистрации хода испарения, разработанное в АФИ, и другие методы требуют сравнительного изучения и сопоставления с эталонами, в качестве которых могут быть приняты: гидравлические почвенные испарители, метод полного водного баланса, при достаточно точном измерении всех его составляющих, и метод полного теплового баланса, при достаточной частоте наблюдений.

Совещание отмечает следующие существенные недостатки в области исследований испарения с поверхности суши.

I. Совершенно недостаточно развиты стационарные наблюдения над испарением с поверхности суши на сети станций Гидрометслужбы, особенно в районах Сибири, Дальнего Востока и Средней Азии.

Медленно реализируется решение III Всесоюзного гидрологического съезда по данному вопросу. Несмотря на то, что после съезда прошло уже 4 года, сеть испарительных станций почти не развивается и к настоящему времени составляет на всю территорию СССР 63 пункта наблюдений. Упущенное время в накоплении данных не может уже быть восполнено, и дальнейшая задержка в развитии сети недопустима, поскольку это отрицательно отражается как на обеспечении данными по испарению народнохозяйственных организаций, так и на развитии научных исследований.

2. Измерения испарения с помощью испарителей в ряде случаев производятся при недостаточной их глубине.

3. Недостаточно ведутся работы по обобщению и сопоставлению материалов по испарению, полученных различными расчетными методами и путем непосредственных измерений испарения различными приборами,

4. Отсутствует координация работ по изучению испарения, выполняемых различными организациями.

5. Имеют место большие затруднения в обеспечении сети станций Гидрометслужбы и особенно других ведомств приборами и оборудованием для изучения испарения с почвы. Главной причиной этих затруднений является отсутствие заводского изготовления необходимых приборов и оборудования, конструкции которых уже разработаны и апробированы (гидравлические почвенные испарители малой модели, испарители ГГИ-500-50, ГГИ-500-I00, весовые испарители других размеров).

6. По настоящего времени задерживается публикация материалов по испарению с суши, накопленных в результате наблюдений на существующей сети станций Гидрометслужбы.

7. Недостаточно развиты теоретические и экспериментальные исследования процессов передвижения влаги в зоне аэрации почво-грунтов в связи с процессами испарения и транспирации растений. Многие сельскохозяйственные культуры совершенно не охвачены изучением (гречиха, сахарная свекла, подсолнечник, виноградники и другие).

8. Не используются в должной мере в агрометеорологических расчетах и оперативном агрометеорологическом обслуживании сельского хозяйства данные непосредственных измерений испарения с

почвы на существующей сети станций в ущерб качеству оперативного агрометеорологического обслуживания.

9. Недостаточное внимание уделяется изучению расхода грунтовых вод на испарение и транспирацию различными сельскохозяйственными культурами при неглубоком залегании грунтовых вод в различных природных зонах СССР.

Совещание обсудило вопрос о методах наблюдений и расчетов испарения и приняло следующие решения:

I. В качестве сетевого метода для развития массовых наблюдений над испарением с поверхности суши в различных физико-географических условиях при естественном и искусственном увлажнении рекомендовать метод почвенных испарителей и лизиметров. В зависимости от вида естественных угодий, состава сельскохозяйственных культур, типа почво-грунтов и характера их увлажнения рекомендуется применять испарители и лизиметры разных размеров и конструкций (испарители ГТИ-500-50, ГТИ-500-100, ГТИ-1000, ГТИ-Б-1000, испарители площадью 0,3 и 1,0 м^2, гидравлические испарители и лизиметры разной площади и глубины). Для культур, засеваемых квадратно-гнездовым способом (кукуруза, хлопчатник и др.), целесообразно применять испарители и лизиметры возможно большей площади, но не менее 0,3 м^2.

2. Признать целесообразным разработку типовых конструкций и методики изучения испарения грунтовых вод с помощью лизиметров (компенсационных испарителей), единых для применения в Гидрометслужбе и других ведомствах.

Просить ГТИ и ВСЕГИНГЕО в кратчайший срок разработать такую методику и конструкции приборов.

3. Считать необходимым расширение сети пунктов стационарных наблюдений над испарением с почвы на территории СССР с помощью почвенных весовых и гидравлических испарителей и лизиметров, доведя число пунктов наблюдений в 1965 г. до 250-260, в том числе в 50 пунктах почвенные испарительные площадки преобразовать в площадки круглогодичного действия. Положить в основу организации и размещения сети пунктов наблюдений над испарением с почвы следующие принципы:

а) Наблюдения над испарением с почвы должны быть организованы в различных физико-географических районах с учетом почвенно-климатических, гидрогеологических и хозяйственных условий и, в первую очередь, в районах орошения, обводнения и осушения земель и проведения других крупных водохозяйственных мероприятий.

б) Наблюдениями над испарением должны быть охвачены разные поверхности суши с изучением транспирации различных сельскохозяйственных культур при естественном и искусственном увлажнении почвы.

в) К наблюдениям над испарением привлекать в первую очередь стоковые, болотные, воднобалансовые и специализированные агрометеорологические станции, а также гидрометеорологические станции, действующие в районах размещения гидрогеологических станций.

4. Учитывая большую роль процессов испарения грунтовых вод в водно-солевом режиме почв, считать необходимым всемерно развивать работы по изучению испарения грунтовых вод.

5. Рекомендовать проведение, и в первую очередь в орошаемых и осушаемых районах с неглубоким залеганием грунтовых вод, работ по изучению баланса грунтовых вод и общего водного баланса гидрогеологическими станциями совместно с метеорологическими, агрометеорологическими и гидрологическими станциями, а также специализированными экспедициями Гидрометслужбы.

Для изучения испарения использовать лизиметры и метод теплового баланса. На основе этих данных, в частности, необходимо установить для различных гидрогеологических и почвенно-климатических условий долю участия испарения грунтовых вод в общем расходе влаги с поверхности земли (с учетом изменения влагозапасов в зоне аэрации).

6. На специализированных станциях Гидрометслужбы (воднобалансовых, теплобалансовых, болотных, крупных агрометстанций), производящих наблюдения над испарением и научно-исследовательские работы, рекомендовать применение одновременно различных методов определения испарения: почвенных испарителей и лизиметров, теплового и водного балансов и турбулентной диффузии.

7. Из числа методов расчета испарения по данным сетевых метеорологических наблюдений наиболее простым и доступным является метод расчета испарения по температуре и влажности воздуха, разработанный в ГГИ. Однако для повышения его точности и применения в практике расчета испарения с конкретных сельскохозяйственных полей требуется продолжение работы по его дальнейшему усовершенствованию.

8. Рекомендовать всем учреждениям, проводящим исследования испарения, опубликовать имеющиеся материалы измерений испарения и других элементов, которые могут быть использованы для определения потерь почвенной влаги на испарение (градиенты температуры и влажности воздуха, составляющие теплового баланса и др.).

9. В целях более широкого и эффективного использования материалов наблюдений над испарением гидрометеорологических и гидрогеологических станций:

а) организовать с начала 1962 года публикацию данных гидрометеорологических станций по испарению в виде ежегодников;

б) просить Министерство геологии и охраны недр СССР подготовить и опубликовать данные наблюдений гидрогеологических станций над испарением грунтовых вод за прошлые годы и организовать публикацию этих данных за последующие годы в виде ежегодников;

в) просить Институт ВСЕГИНГЕО подготовить краткий справочник изученности испарения грунтовых вод, а также режима подземных вод на территории СССР;

г) подготовить ГГИ совместно с ВСЕГИНГЕО и издать методическое руководство по изучению испарения грунтовых вод с помощью лизиметров.

10. Рекомендовать ГГИ и другим научным учреждениям при проведении воднобалансовых работ, выполняемых в научно-исследовательских лабораториях и на станциях, усилить изучение испарения грунтовых вод, влажности и водного режима почвы до нижних границ корнеобитаемого слоя и других статей баланса подземных вод (инфильтрация, подземный сток, конденсация).

11. Рекомендовать ГГИ предусмотреть в 20-летнем плане развития исследований вод суши организацию научно-исследовательских гидрологических лабораторий во всех биоклиматических зонах Советского Союза, и в первую очередь в южных зонах - в Средней Азии и на Украине. Поскольку лучшим эталонным прибором для определения испарения и перемещения влаги в зоне аэрации почво-грунтов является большой гидравлический испаритель, считать совершенно необходимым сооружение хотя бы по одному из таких эталонов на юге Украины и в Средней Азии.

12. Считать необходимым изучение вопросов о репрезентативности наблюдений над испарением, распространении данных по испарению, полученных различными методами, на большие территории и о соотношениях величин испарения с различных поверхностей суши.

13. Для оценки ресурсов поверхностных и подземных вод в различных районах нашей страны считать важной задачей составление, на основе накопленных данных по испарению с суши и разработанных методов расчета, карты норм испарения с суши по территории Советского Союза, а также специальных карт испарения с отдельных сельскохозяйственных угодий. Считать целесообразным разработку методики составления карты расхода грунтовых вод на испарение и транспира-

цию на территории СССР и составление такой карты после накопления соответствующих данных.

I4. Обратить внимание всех исследовательских организаций, занимающихся изучением испарения с лесов, более детально учитывать типы лесных угодий и насаждений с целью получения репрезентативных данных и возможности их обобщения на крупные лесные массивы.

I5. Считать необходимым организацию исследований по регулированию испарения с водоемов и сельскохозяйственных полей в целях улучшения водообеспеченности растений, повышения урожайности и уменьшения нерационального расходования влаги в зонах недостаточного увлажнения.

I6. Рекомендовать ЦИП'у использование данных измерений испарения с почвы на действующей сети станций при оперативном агрометеорологическом обслуживании для оценки сложившихся агрометеорологических условий произрастания сельскохозяйственных культур и решения других специальных задач.

I7. Рекомендовать Валдайской научно-исследовательской лаборатории ГГИ расширить объем теплобалансовых исследований.

I8. Необходимо еще более расширить объем и состав совместных гидрологических исследований ВНИГЛ с другими заинтересованными организациями в целях более широкого использования уникальных установок и оборудования лаборатории.

I9. Для придания исследованиям испарения и транспирации большей практической значимости совещание обращает внимание на важность увязки величин транспирации и суммарного испарения с накоплением органического вещества и урожаем культур. Эти данные следует помещать при публикации материалов наблюдений над испарением.

20. Просить ГУГМС обеспечить в централизованном порядке приборами и оборудованием научно-исследовательские и производственные организации, занимающиеся изучением испарения с поверхности суши, и организовать производство необходимых приборов заводским способом (испарители ГГИ-500, гидравлические испарители малой модели и лизиметры).

2I. Считать необходимым широкое внедрение средств автоматизации наблюдений над испарением методами теплового баланса и турбулентной диффузии.

22. Усилить теоретические исследования процессов испарения и передвижения влаги в зоне аэрации.

23. Считать целесообразным периодически созывать междуведомственные совещания по вопросам изучения испарения.

24. Признать необходимым усиление разделов водного баланса, водного режима почвы и испарения в соответствующих учебных кур-

сах в высших и средних учебных заведениях, готовящих специалистов гидрологов, метеорологов, мелиораторов и географов, а также подготовку соответствующих учебных пособий. Просить ГУГМС при Совете Министров СССР поставить этот вопрос перед Министерством высшего и среднего специального образования.

25.Создать при ГГИ постоянную Междуведомственную комиссию по изучению испарения с суши. На комиссию возложить перспективное планирование и координацию работ по изучению испарения, апробацию методик, составление информаций о выполненных работах,организацию совещаний и т.д. Просить ГГИ провести организационные мероприятия по созданию такой комиссии.

26. Опубликовать материалы настоящего совещания в возможно короткий срок.

27. Созвать в 1962 году совещание по методике и результатам изучения водных балансов территорий на базе ВНИГЛ ГГИ.

С П И С О К
учреждений, представленных на совещании

1. Государственный ордена Трудового Красного Знамени гидрологический институт (ГГИ). Ленинград, 2-я линия, 23
2. Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова (ГГО). Ленинград,Лесное, Малая Спасская ул., 7
3. Центральный институт прогнозов (ЦИП). Москва, Большевистская ул., I3
4. Дальневосточный научно-исследовательский гидрометеорологический институт (ДВНИГМИ). Владивосток, ул. Дзержинского, 24
5. Тбилисский научно-исследовательский гидрометеорологический институт (ТбилНИГМИ). Тбилиси , пр.Плеханова,I50
6. Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт (УкрНИГМИ). Киев, Большая Китаевская ул., I05
7. Валдайская научно-исследовательская гидрологическая лаборатория ГГИ (ВНИГЛ). Валдай,ул. Победы, 2
8. Дубовская научно-исследовательская гидрологическая лаборатория ГГИ (ДНИГЛ). Ростовская обл., с. Дубовское
9. Совет по изучению производительных сил при Госэкономсовете Совета Министров СССР (СОПС). Москва, Берсеньевская набережная
I0. Институт географии АН СССР. Москва, Старомонетный пер., 29
II. Институт прикладной геофизики АН СССР. Москва, Глебовская ул., 2
I2. Почвенный институт им. В.В. Докучаева ВАСХНИЛ. Москва, Пыжевский пер., 7
I3. Институт водных проблем АН АрмССР. Ереван, ул. Кирова,I9[a]
I4. Институт водных проблем и гидротехники АН УзбССР. Ташкент, ул. Якуба Коласа, 26
I5. Институт гидрологии и инженерной геологии АН УзбССР. (ГИДРОИНГЕО). Ташкент, ул. Сталина, 33
I6. Институт гидрологии и гидротехники АН УССР. Киев, ул.Желябова, 8/4
I7. Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО). Москва, Б. Ордынка, 32
I8. Агрофизический институт (АФИ). Ленинград, дорога в Гражданку, I4
I9. Узбекский гидрогеологический трест Главгеологии УзбССР.Ташкент, ул. Тараса Шевченко, II[a]

20. Лаборатория лесоведения при Госплане СССР. Московская обл., с. Успенское
21. Институт почвоведения МСХ Таджикской ССР. Душанбе, пр.Ленина, 19
22. Киевский государственный университет им.Т.Г.Шевченко. Киев, Владимирская ул., 60
23. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Москва, Ленинские горы
24. Ташкентский государственный университет. Ташкент, ул.Кренкеля, 14[а]
25. Ленинградский гидрометеорологический институт. Ленинград , Малоохтинский пр., 98
26. Государственный проектный институт Гипролестранс. Ленинград, 10-я Красноармейская ул., 19
27. Научно-исследовательский институт водного хозяйства МСХ Казахской ССР. Алма-Ата, ул. 8 Марта, 27
28. Таджикская гидрорежимная партия Управления геологии при Совете Министров Таджикской ССР. Курган-Тюбе
29. Чуйская геологическая экспедиция Управления геологии и охраны недр при Совете Министров Киргизской ССР. Аламедин, ул. Токмакская, 100
30. Управление гидрометслужбы Казахской ССР. Алма-Ата, Интернациональная ул., 65
31. Каменностепная гидрометеорологическая обсерватория УГМС Центрально-черноземных областей. Воронежская обл., ст. Таловая
32. Киевская гидрометеорологическая обсерватория УГМС Укр.ССР. Киев , Золотоворотская ул., 6
33. Куйбышевская гидрометеорологическая обсерватория Приволжского УГМС. Куйбышев обл., Ново-Садовая ул., 357
34. Московская гидрометеорологическая обсерватория УГМС Центральных областей. Москва, Средний Овчинниковский пер., I
35. Ростовская гидрометеорологическая обсерватория Северо-Кавказского УГМС. Ростов-на-Дону, 2-я Советская ул., I/9
36. Западно-Казахстанская стоковая станция УГМС Казахской ССР. Актюбинская обл., ст. Караул-Кельды Оренбургской ж.д.
37. Болотная станция УГМС Латвийской ССР, Рига, ул. Горького, 19
38. Прикаспийская гидрогеологическая станция Министерства геологии и охраны недр СССР (МГ и ОН СССР) Саратов. Козловка I-а.
39. Валдайский районный комитет КПСС. Валдай

С П И С О К У Ч А С Т Н И К О В

Междуведомственного совещания по проблеме изучения испарения с поверхности суши

I. Алимов Абдукамиль Карабаевич, мл.науч. сотр. (ГИДРОИНГЕО АН УзбССР, Ташкент)
2. Анарбаев Сатвалды, ст.инж. (Узбекский гидрогеологический трест, Ташкент)
3. Аншин Валентин Дмитриевич, инж. (ВСЕГИНГЕО, Москва)
4. Бархатова Мария Романовна, мл.науч.сотр. (ГГИ, Ленинград)
5. Белухина Галина Владимировна, мл.науч.сотр. (ЦИП, Москва)
6. Бессонов Николай Павлович, директор (Московская ГМО, Москва)
7. Большаков Алексей Федорович, канд.геол.-мин.наук (Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, ВАСХНИЛ,Москва)
8. Бончковский Флавий Николаевич, канд.с.-х.наук, директор (Ин-т почвоведения МСХ Таджикской ССР, Душанбе)
9. Будаговский Анатолий Иванович, канд.техн.наук (Ин-т географии АН СССР, Москва)
IO. Буров Виктор Сергеевич, инж. (ВНИГЛ ГГИ, Валдай)
II. Бюриг Ренэ Федорович , ст. инж. (ГГИ, Ленинград)
I2. Быков Николай Иванович, нач-к отдела (Куйбышевская ГМО,Куйбышев)
I3. Васячкина Вера Николаевна, ст. инж. (ВНИГЛ ГГИ, Валдай)
I4. Виноградов Всеволод Александрович, мл.науч.сотр. (ВНИГЛ ГГИ, Валдай)
I5. Виноградов Владимир Викторович, мл.науч.сотр. (ДНИГЛ ГГИ, с. Дубовское,Ростовской обл.)
I6. Ганиев Кахраман Ганиевич ,аспирант (ГИДРОИНГЕО АН УзбССР, Ташкент)
I7. Гинко Сергей Сергеевич, канд.техн.наук (ГГИ,Ленинград)
I8. Голубев Валентин Степанович, аспирант (ГГИ, Ленинград)
I9. Горбунов Николай Сергеевич, доц., канд. техн.наук (НИИ водного хозяйства МСХ КазССР, Алма-Ата)
20. Грибасова Таисия Васильевна, мл.науч.сотр. (ГГИ, Ленинград)
2I. Данильченко Николай Владимирович, ст.научн.сотр. (НИИ водного хозяйства МСХ КазССР , Алма-Ата)
22. Джалилов Абдувам Шарипович , аспирант (Ин-т почвоведения МСХ ТаджССР, Душанбе)
23. Димаксян Арташес Новсесович , канд.техн. наук (ГГИ, Ленинград)
24. Добров Лев Михайлович, ст.инж. (Западно-Казахстанская стоковая станция, ст. Караул-Кельды, Актюбинской обл.)

25. Долгов Сергей Илларионович, д-р с.-х. наук (Почвенный ин-т им В.В. Докучаева, ВАСХНИЛ, Москва)
26. Ефремова Кира Михайловна, ст.инж. (Чуйская гидрогеологическая станция Управл. геологии и охраны недр при СМ КирССР, Аламедин)
27. Коленц Любовь Исааковна, ст. инж. (Узбекский гидрогеологический трест, Ташкент)
28. Зубенок Лидия Игнатьевна, канд.геогр. наук (ГГО, Ленинград)
29. Зыков Николай Андреевич, нач-к стоково-ливнемерной станции (ВНИГЛ ГГИ, Валдай)
30. Иванов Константин Евгеньевич, д-р геогр. наук (ГГИ, Ленинград)
31. Иванова Евгения Михайловна, студентка (ЛГМИ, Ленинград)
32. Искандаров Нариман Гарифович, ст.техник (Прикаспийская гидрогеологическая станция, Саратов)
33. Каганов Михаил Абрамович, канд.физ.-мат.наук (АФИ, Ленинград)
34. Каулина Клавдия Ивановна, ст. инж. (Каменностепная ГМО, ст. Таловая, Воронежской обл.)
35. К а п Давид Моисеевич, д-р геол.-мин. наук (ВСЕГИНГЕО, Москва)
36. Клопова Антонина Станиславовна, канд.геогр.наук (СОПС, Москва)
37. Ковзель Александр Григорьевич, канд.техн.наук (ГГИ, Ленинград)
38. Колесник Петр Иванович, доц., канд.геогр.наук (Киевский Гос. ун-т, Киев)
39. Константинов Алексей Родионович, канд.физ.-мат.наук (Укр. НИГМИ, Киев)
40. Конторщиков Александр Сергеевич, канд.геогр.наук (ЦИП, Москва)
41. Крестовский Олег Игоревич, мл. науч. сотр. (ВНИГЛ ГГИ, Валдай)
42. Куделин Борис Иванович, проф., д-р геол.-мин. наук (МГУ , Москва)
43. Кузнецов Василий Иванович, канд.техн. наук (ВНИГЛ ГГИ, Валдай)
44. Кузьмин Прокопий Павлович, канд.геогр.наук (ГГИ, Ленинград)
45. Лебедев Владимир Андреевич, мл.науч.сотр. (ДВНИГМИ, Владивосток)
46. Левин Семен Львович, канд. с.-х. наук (АФИ, Ленинград)
47. Маленин Олег Викторович, аспирант (Ташкентский Гос. ун-т, Ташкент)
48. Мильхис Борис Ефимович, канд.физ.-мат.наук (Ин-т водных проблем и гидротехники АН УзбССР, Ташкэнт)

49. Мирошниченко Светлана Моисеевна, инж. (УГМС Казахской ССР, Алма-Ата)
50. Молчанов Александр Алексеевич, проф., д-р биол. наук (Лаборатория лесоведения, с. Успенское.Московской обл.)
51. Нурадилов Антбай, мл.науч.сотр. (ГИДРОИНГЕО АН УзбССР, Ташкент)
52. Образцова Лилия Михайловна, ст. лаборант (Лаборатория лесоведения, с. Успенское,Московской обл.)
53. Огнева Татьяна Александровна, канд.геогр. наук (ГГО, Ленинград)
54. Пахчанян Грант Гайкович, мл.науч.сотр. (Ин-т водных проблем АН АрмССР, Ереван)
55. Петушков Константин Павлович, гл. инж. (Узбекский гидрогеологический трест, Ташкент)
56. Планин Юрий Григорьевич, инж. (Таджикская гидрорежимная партия Управления геологии при Совете Министров Таджикской ССР, Курган-Тюбе)
57. Попов Олег Владимирович, ст. науч.сотр. (ГГИ, Ленинград)
58. Прокофьева Людмила Ивановна, мл. науч.сотр. (ГГО, Ленинград)
59. Пушек Борис Степанович, канд.геогр.наук (ГГИ, Ленинград)
60. Пушкарев Василий Филиппович, канд.физ.-мат. наук (ГГИ, Ленинград)
61. Пызин Владимир Иосифович, гл.инж. (Гипролестранс, Ленинград)
62. Рахимбаев Фарид Мадиримович, инж. (Узбекский гидрогеологический трест, Ташкент)
63. Ревера Олег Захарович, канд.геогр.наук (Ин-т гидрологии и гидротехники АН УССР, Киев)
64. Ремизова Сталина Сергеевна, ст. техник (ГГИ, Ленинград)
65. Р о д е Алексей Андреевич, проф., д-р с.-х. наук (Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева,ВАСХНИЛ, Москва)
66. Розенштох Юрий Львович, канд.техн. наук (АФИ, Ленинград)
67. Роханская Ольга Дмитриевна, канд.физ.-мат.наук (АФИ, Ленинград)
68. Романов Владимир Васильевич, канд.техн. наук (ГГИ, Ленинград)
69. Сакали Леонид Иванович, доц., канд.геогр. наук (УкрНИГМИ, Киев)
70. Семенова Нина Васильевна, инж. (ВНИГЛ ГГИ, Валдай)
71. Смирнов Валерий Васильевич, канд. с.-х. наук (Лаборатория лесоведения, с. Успенское,Московской обл.)
72. Смирнов Ксенофонт Иванович, канд. техн. наук (ГГИ, Ленинград)

73. Строкович Софья Борисовна, инж. (Узбекский гидрогеологический трест, Ташкент)
74. Терентьев Василий Иванович, агроном, секретарь Валдайского РК КПСС (Валдай)
75. Тищенко Павел Васильевич, нач-к стоковой станции (ДНИГЛ ГГИ, с. Дубовское Ростовской обл.)
76. Турапов Ибрагим, аспирант (АФИ, Ленинград)
77. Урываев Валерьян Андреевич, канд.техн. наук, директор (ГГИ , Ленинград)
78. Федоров Степан Федорович, канд.техн. наук (ВНИГЛ ГГИ, Валдай)
79. Федорова Татьяна Георгиевна, мл.науч. сотр. (ВНИГЛ ГГИ,Валдай)
80. Хильми Генрих Францевич, д-р.физ.-мат. наук (Ин-т прикладной геофизики АН СССР, Москва)
81. Хоренженко Лиза Макаровна, инж. (Киевская ГМО, Киев)
82. Хмаладзе Григорий Николаевич, канд.геогр. наук (ТбилНИГМИ, Тбилиси)
83. Цемейко Валерьян Иосифович, нач-к болотной станции (УГМС ЛатвССР, Рига)
84. Цубербиллер Елена Александровна, доц., канд. с.-х. наук (ЦИП, Москва)
85. Шабан Валентин Петрович, инж. (Московская ГМО, Москва)
86. Шамухов Алиледжан Садыкович, ст.науч.сотр. (ГИДРОИНГЕО АН УзбССР, Ташкент)
87. Шарова Валерия Яковлевна, канд.геогр. наук (ГГО, Ленинград)
88. Шашко Даниил Иванович, д-р геогр. наук (СОПС, Москва)
89. Шпак Иван Семенович, канд.геогр. наук (УкрНИГМИ, Киев)
90. Штарева Алла Павловна, ст.инж. (Северо-Кавказское УГМС, Ростов-на-Дону)

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

Предисловие 2

Доклады .

Пушкарев В.Ф.- Основные вопросы проблемы изучения испарения с поверхности суши 5

Конторщиков А.С. - О методах расчета испарения и запасов почвенной влаги при агрометеорологическом обслуживании сельскохозяйственного производства 16

Будаговский А.И. - Исследование процесса испарения 26

Константинов А.Р. - Методика расчета суточного и сезонного хода испарения по сетевым метеорологическим данным 39

Каганов М.А. - Методика градиентных измерений при оценке испарения деятельной поверхности 49

Цубербиллер Е.А., Белухина Г.В. - О результатах исследований испарения с сельскохозяйственных полей методом А.А.Скворцова 54

Розенштох Ю.Л. - Автоматическое измерение испарения по методу теплового баланса 60

Федоров С.Ф. - Некоторые результаты изучения испарения в условиях леса 63

Анарбаев С.А., Рахимбаев Ф.М., Строкович С.Б. - О методах изучения испарения и транспирации, применяемых на гидрогеологических станциях Главгеологии Узбекской ССР . 72

Кац Д.М. - Испарение грунтовых вод на орошаемых землях пустынной зоны 83

Милькис Б.Е., Могильников Л.П. - Исследования испарения с обнаженного лока водохранилища 96

Романов В.В. - Методы и результаты изучения испарения с поверхности болот 108

Константинов А.Р. - Испаряемость - комплексная характеристика метеорологических условий произрастания сельскохозяйственных культур 116

Олейник Р.Н., Сакали Л.И. - Опыт расчета суммарного испарения для территории Украины и Молдавии 127

Стр.

Шпак И.С. - Некоторые характеристики испарения с почвы, полученные методом водного баланса 141

Смирнов К.И. - Некоторые результаты исследований испарения с почвы в Кустанайской области 159

Каулина К.И. - Результаты изучения испарения с почвы в Каменной Степи различными методами 171

Левин С.Л. - Испарение с полей, занятых овощными культурами, в Ленинградской области 182

Виноградов В.В. - Опыт непрерывной регистрации суточного хода испарения с почвы самописцами, установленными на гидравлическом испарителе малой модели 192

Тищенко П.В. - Применение лизиметров для определения испарения в районе Нижне-Донской оросительной системы 202

Пушкарев В.Ф. - Состояние и план развития наблюдений над испарением с почвы 207

Журнал заседаний 213

Решения совещания 250

Список учреждений, представленных на совещании . . 258

Список участников совещания 260

Под редакцией
В.И. Кузнецова, П.П. Кузьмина и В.Ф. Пушкарева

Подписано к печати 30/XII 1961 г. Печ.л.18. Уч.-изд.л. 20.7.
Заказ № 41. ОД - 00490. Тираж 700 экз. Цена 1 р. 25 к.